

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

**UBIRAJARA SEYR JUNIOR**

**AVALIAÇÃO DE PROGRAMAS COMPUTACIONAIS PARA  
DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS  
CONECTADOS À REDE.**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA  
2013**

UBIRAJARA SEYR JUNIOR

**AVALIAÇÃO DE PROGRAMAS COMPUTACIONAIS PARA  
DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS  
CONECTADOS À REDE.**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito para obtenção do título de especialista em Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Jair Urbanetz Junior, Dr. Eng.

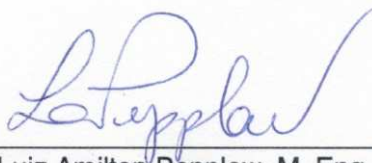
CURITIBA  
2013

UBIRAJARA SEYR JUNIOR

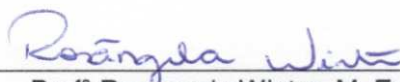
## **AVALIAÇÃO DE PROGRAMAS COMPUTACIONAIS PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de **Especialista em Eficiência Energética**, do Curso de Especialização em Eficiência Energética do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**.

Curitiba, 18 de setembro de 2013.



Prof. Luiz Amilton Peplow, M. Eng.  
Coordenador de Curso de Especialização em Eficiência Energética  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica



Profª Rosângela Winter, M. Eng.  
Chefe do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica


### **BANCA EXAMINADORA**



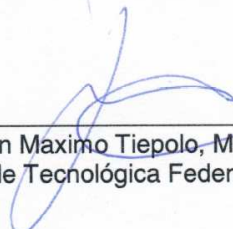
Profª Maria de Fátima Ribeiro Raia, Drª. Eng.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná



Prof. Jair Urbanetz Junior, Dr. Eng.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador



Prof. Carlos Henrique Mariano, M. Eng.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná



Prof. Gerson Maximo Tiepolo, M. Eng.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus familiares, que me incentivam com seus exemplos.

À minha esposa Suzeli Herche, que sempre caminha ao meu lado e me apoia em todos os momentos, agradeço pelo carinho e amor.

Ao corpo docente da UTFPR, que dá vida a esta instituição, em especial aos mestres que ministraram esta especialização, pelos seus exemplos de vida, profissionalismo, dedicação, disponibilidade e apoio.

Ao meu orientador Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior, pela atenção e acompanhamento da evolução deste trabalho.

Aos professores da banca examinadora, pela atenção e contribuições a este trabalho.

Aos colegas servidores da UTFPR, que me incentivaram e apoiaram durante este ano de estudos.

## RESUMO

A energia solar é uma fonte de energia limpa, considerada inesgotável e também uma fonte de energia promissora, nas várias formas de seu aproveitamento. Uma importante aplicação é a conversão da energia solar diretamente em eletricidade pelo efeito fotovoltaico, base dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede. A regulamentação dos sistemas conectados à rede é um importante passo para o crescimento desta energia renovável e limpa no Brasil. O dimensionamento eficiente deve maximizar o aproveitamento da instalação e diminuir os custos da planta e da energia gerada. Este trabalho aborda o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede e descreve os principais passos e etapas de utilização dos mais conhecidos programas de dimensionamento disponibilizados por fabricantes de inversores CC-CA e centros de pesquisas.

**Palavras-chave:** Programas de dimensionamento. Energia fotovoltaica. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

## **ABSTRACT**

Solar energy is a clean energy source, considered inexhaustible and also a promising source of energy, in the various forms of utilization. An important application is the conversion of solar energy directly into electricity by the photovoltaic effect, base of photovoltaic systems grid-connected. The regulation of grid-connected systems is an important step in the growth of this clean renewable energy in Brazil. The efficient design should maximize the system utilization and decrease the costs of the plant and the energy generated. This paper discusses the design of photovoltaic systems grid-connected and describes the main steps and stages of use of the most popular sizing softwares offered by manufacturers of DC-AC inverters and research centers.

**Keywords:** Sizing softwares. Photovoltaic energy. Photovoltaic system grid-connected.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Radiação solar, difusa e refletida.....	19
Figura 2 - Comparativo entre a energia solar anual incidente na Terra, a demanda mundial de energia anual e os recursos energéticos conhecidos .....	20
Figura 3 - Níveis de irradiação anual mundial em relação às linhas de latitude.....	21
Figura 4 - Princípio de funcionamento do efeito fotovoltaico.....	23
Figura 5 - Conversão de energia luminosa numa célula de Silício.....	24
Figura 6 - Perdas na conversão em uma célula fotovoltaica.....	25
Figura 7 - Classificação das famílias de tecnologias fotovoltaicas.....	26
Figura 8 - Célula de silício monocristalino.....	27
Figura 9 - Célula de silício policristalino .....	28
Figura 10 - Células de silício amorfo sobre filme fino flexível.....	29
Figura 11 - Células de silício filme fino CIGS .....	29
Figura 12 - Curvas I x V para a ligação em série de dois dispositivos FV.....	31
Figura 13 - Curvas I x V para a ligação em paralelo de dois dispositivos FV.....	32
Figura 14 - Componentes de um sistema fotovoltaico: célula, módulo, <i>string</i> e <i>array</i> .....	33
Figura 15 - Curvas (a) I x V e (b) P x V para um módulo FV cristalino, sob diferentes níveis de irradiação solar .....	34
Figura 16 - Curvas (a) I x V e (b) P x V devido à variação da temperatura.....	35
Figura 17 - Efeitos de redução da potência pelo aumento da temperatura.....	36
Figura 18 - Sistema conectado à rede .....	36
Figura 19 - Exemplo de inversor monofásico de <i>string</i> .....	37
Figura 20 - Exemplo de inversor central trifásico de alta potência .....	38
Figura 21 - Configuração de instalações por inversores individuais, Solar.configurator .....	43
Figura 22 - Configuração de instalações por inversores centrais, Solar.configurator.....	44
Figura 23 - Outras sugestões de combinações de inversores centrais, Solar.configurator.....	45
Figura 24 - Dimensionamento de cabos, programa de dimensionamento Solar.configurator.....	46
Figura 25 - Resumo do dimensionamento, programa de dimensionamento Solar.configurator.....	47
Figura 26 - Inclusão dos dados do projeto na etapa de informação, Ingecon Sun Planner.....	50
Figura 27 - Seleção do inversor, programa <i>on-line</i> Ingecon Sun Planner.....	50
Figura 28 - Seleção do módulo fotovoltaico, programa <i>on-line</i> Ingecon Sun Planner .....	51
Figura 29 - Valores da configuração e resultados, programa <i>on-line</i> Ingecon Sun Planner.....	52
Figura 30 - Exemplo de relatório final do programa <i>on-line</i> Ingecon Sun Planner ....	53
Figura 31 - Exemplo da interface do programa <i>on-line</i> Aurora <i>Stringsizer</i> , Power-one .....	56
Figura 32 - Exemplo de relatório final do programa <i>on-line</i> Aurora <i>Stringsizer</i> , Power-one .....	59
Figura 33 - Interface principal do programa Sunny Design .....	62
Figura 34 - Configuração do sistema, prog. Sunny Design.....	64
Figura 35 - Etapa do sistema fotovoltaico, prog. Sunny Design.....	65
Figura 36 - Janela configuração do alinhamento e tipo de montagem, prog. Sunny	

Design .....	65
Figura 37 - Janela sugestões de dimensionamento, aba projeto parcial, prog. Sunny Design .....	66
Figura 38 - Janela sugestões de dimensionamento, aba gerador FV, prog. Sunny Design .....	67
Figura 39 - Caixa vista geral dos inversores, etapa do sistema fotovoltaico, prog. Sunny Design .....	68
Figura 40 - Caixa sistema FV–inversor compatíveis, etapa do sistema FV, prog. Sunny Design .....	69
Figura 41 - Etapa dimensionamento dos cabos, prog. Sunny Design .....	69
Figura 42 - Aba projeto, etapa dimensionamento dos cabos, prog. Sunny Design ...	70
Figura 43 - Aba cabos de CC, etapa dimensionamento dos cabos, prog. Sunny Design .....	70
Figura 44 - Aba cabos CA1, etapa dimensionamento dos cabos, prog. Sunny Design .....	70
Figura 45 - Etapa consumo próprio, prog. Sunny Design .....	71
Figura 46 - Etapa vista geral, prog. Sunny Design .....	72
Figura 47 - Relatório do resumo do sistema, prog. Sunny Design .....	73
Figura 48 - Relatório da avaliação do dimensionamento, prog. Sunny Design .....	74
Figura 49 - Relatório do consumo próprio, prog. Sunny Design .....	75
Figura 50 - Interface principal do programa PVSYST .....	79
Figura 51 - Etapa de pré-dimensionamento de projeto conectado à rede, prog. PVSYST .....	80
Figura 52 - Selecionar o dimensionamento de projeto conectado à rede, interface principal do prog. PVSYST .....	81
Figura 53 - Janela de definição do novo projeto, prog. PVSYST .....	81
Figura 54 - Janela de definição da localização e dos dados meteorológicos do novo projeto, prog. PVSYST .....	82
Figura 55 - Janela de definição dos parâmetros do novo projeto, aba “Albedo”, prog. PVSYST .....	83
Figura 56 - Janela de definição dos parâmetros do novo projeto, aba “Condições do projeto”, prog. PVSYST .....	83
Figura 57 - Janela de definição dos parâmetros do novo projeto, aba “Outras limitações”, prog. PVSYST .....	84
Figura 58 - Caixa de diálogo da definição de nova variante do sistema, prog. PVSYST .....	84
Figura 59 - Seleção dos parâmetros de entrada obrigatórios e opcionais, na caixa de diálogo da definição de nova variante do sistema, prog. PVSYST .....	85
Figura 60 - Janela do parâmetro de entrada obrigatório “Orientação”, na caixa de diálogo da definição de nova variante do sistema, prog. PVSYST .....	86
Figura 61 - Janela do parâmetro de entrada obrigatório “Sistema”, na caixa de diálogo da definição de nova variante do sistema, prog. PVSYST .....	87
Figura 62 - Janela do parâmetro de entrada obrigatório “Perdas detalhadas”, na caixa de diálogo da definição de nova variante do sistema, prog. PVSYST .....	88
Figura 63 - Janela do parâmetro de entrada opcional “Horizonte”, na caixa de diálogo da definição de nova variante do sistema, prog. PVSYST .....	90
Figura 64 - Janela do parâmetro de entrada opcional “Sombreamentos próximos”, na caixa de diálogo da definição de nova variante do sistema, prog. PVSYST .....	91
Figura 65 - Janela do parâmetro de entrada opcional “Layout dos módulos”, na caixa de diálogo da definição de nova variante do sistema, prog. PVSYST .....	92



Figura 66 - Janela do parâmetro de entrada opcional “Avaliação econômica”, na caixa de diálogo da definição de nova variante do sistema, prog. PVSYST .....	93
Figura 67 - Janela aberta após seleção do botão “ <i>Simulation</i> ”, no item “ <i>Simulation and results</i> ”, definição de nova variante do sistema, prog. PVSYST .....	93
Figura 68 - Janela “ <i>hourly simulation progress</i> ”, após seleção do botão “ <i>Simulation</i> ” no item “ <i>Simulation and results</i> ”, definição de nova variante do sistema, prog. PVSYST .....	94
Figura 69 - Janela aberta após seleção do botão “ <i>Results</i> ”, no item “ <i>Simulation and results</i> ”, na caixa de diálogo da definição de nova variante do sistema, prog. PVSYST .....	94
Figura 70 - Exemplo de relatório final, página 1/4 – Parâmetros da simulação, prog. PVSYST .....	96
Figura 71 - Exemplo de relatório final, página 2/4 – Principais resultados, prog. PVSYST .....	97
Figura 72 - Exemplo de relatório final, página 3/4 – Diagrama de perdas, prog. PVSYST .....	98
Figura 73 - Exemplo de relatório final, página 4/4 - Avaliação econômica, prog. PVSYST .....	99
Figura 74 - Janela de acesso às bases de dados, aberta após selecionar o item “ <i>Databases</i> ”, interface principal, prog. PVSYST .....	100
Figura 75 - Janela de acesso às ferramentas, aberta após selecionar o item “ <i>Tools</i> ”, interface principal, prog. PVSYST .....	101

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Eficiência da conversão fotovoltaica das tecnologias.....	30
Quadro 2 – Coeficientes térmicos das tecnologias fotovoltaicas.....	35
Quadro 3 – Comparação das características dos programas dimensionamento....	102

## LISTA DE ABREVIACOES

CA	Corrente alternada
3D	Tridimensional
AC (CA)	<i>Alternating current</i> (corrente alternada)
BDD	Base de dados
CC	Corrente contínua
DC (CC)	<i>Direct current</i> (corrente contínua)
FT	Fator de transposição
FV	Fotovoltaico
MPP	<i>Maximum Power Point</i> (ponto de máxima potência)
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i> (seguidor do ponto de máxima potência)
pdf	<i>Portable Document Format</i> (formato portátil de documento, desenvolvido por Adobe Systems Inc.)
PV	<i>Photovoltaic</i> (fotovoltaico)
STC	<i>Standard Test Conditions</i> (condições de teste padrão: 1000W/m <sup>2</sup> a 25°C e AM=1,5)
web	Designação curta de <i>World Wide Web</i> - WWW (teia mundial)

## LISTA DE ACRÔNIMOS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BDEW	<i>Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft</i> (Associação da Economia de Energia e Água - Alemanha)
BMFT	<i>Bundesministerium für Forschung und Technologie</i> (Ministério de Pesquisa e Tecnologia - Alemanha)
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPIA	<i>European Photovoltaic Industry Association</i> (Associação da Indústria Fotovoltaica Europeia)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
METEONORM	Empresa privada de comércio de dados meteorológicos – Suíça
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> (Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço – Estados Unidos)
PRODEEM	Programa para o Desenvolvimento da Energia nos Estados e Municípios
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
WMO	<i>World Meteorological Organization</i> (Organização Meteorológica Mundial - OMM)

## LISTA DE UNIDADES DE GRANDEZAS

A	Ampère
°C	grau Celsius
°K	grau Kelvin
GW	gigawatt
GWh	gigawatt-hora
GWp	gigawatt-pico
Hz	Herz
Kg	kilograma
kW	quilowatt
kWh	quilowatt-hora
kWp	quilowatt-pico
m	metro
mm	milímetro
µm	micrometro
MW	megawatt
MWh	megawatt-hora
MWp	megawatt-pico
V	Volt
W	Watt
Wh	Watt-hora
Wp	Watt-pico
W/m <sup>2</sup>	Watt por metro quadrado
kW/m <sup>2</sup> /dia	Watt por metro quadrado por dia

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1 OBJETIVOS.....	16
1.1.1 Objetivo Geral.....	16
1.1.2 Objetivos Específicos.....	17
1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO .....	17
1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	17
1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	18
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TCC.....	18
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>19</b>
2.1 ENERGIA SOLAR.....	19
2.2 INFLUÊNCIA DA LATITUDE NA POTÊNCIA LUMINOSA RECEBIDA .....	21
2.3 HISTÓRIA DA TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA .....	21
2.4 EFEITO FOTOVOLTAICO.....	22
2.5 PERDAS EM UMA CÉLULA FOTOVOLTAICA DE SILÍCIO .....	23
2.6 CÉLULA FOTOVOLTAICA .....	25
2.7 TECNOLOGIA DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS .....	25
2.7.1 Células monocristalinas .....	26
2.7.2 Células policristalinas.....	27
2.7.3 Células de filme fino.....	28
2.7.4 Outras tecnologias de células fotovoltaicas .....	29
2.8 EFICIÊNCIA DAS TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS.....	30
2.9 MÓDULO FOTOVOLTAICO.....	30
2.9.1 Associação de células em série.....	31
2.9.2 Associação de células em paralelo.....	32
2.10 FATORES QUE AFETAM AS CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS MÓDULOS.....	33
2.10.1 Intensidade luminosa .....	33
2.10.2 Temperatura das células.....	34
2.11 INVERSORES CC/CA .....	36
2.12 DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FV POR MÉTODO MANUAL.....	38
<b>3 PROGRAMAS DE DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE .....</b>	<b>40</b>

3.1 FRONIUS.....	40
3.1.1 Modo de configuração de inversor individual .....	43
3.1.2 Modo de configuração por inversores centrais .....	44
3.1.3 Dimensionamento dos cabos.....	46
3.1.4 Resumo da instalação.....	47
3.2 INGETEAM.....	48
3.2.1 <i>Proyecto</i> (projeto) .....	49
3.2.2 <i>Instalación</i> (instalação) .....	49
3.2.2.1 Inversor .....	50
3.2.2.2 Módulo solar .....	51
3.2.2.3 Configuração.....	51
3.2.3 Relatório.....	52
3.3 POWER-ONE.....	54
3.3.1 Location (localização) .....	55
3.3.2 <i>Temperature</i> (temperatura).....	55
3.3.3 <i>PV panel selection</i> (seleção do módulo FV) .....	57
3.3.4 <i>Inverter selection</i> (seleção do inversor) .....	57
3.3.5 <i>Results</i> (resultados) .....	57
3.4 SMA.....	59
3.4.1 Janela dos dados do projeto .....	63
3.4.2 Janela do sistema fotovoltaico .....	64
3.4.3 Janela do dimensionamento dos cabos .....	69
3.4.4 Janela do consumo próprio.....	71
3.4.5 Janela vista geral .....	72
3.4.6 Assistente de edição.....	72
3.5 PVSYST.....	76
3.5.1 Definir o novo projeto.....	80
3.5.2 Criar a primeira variante do sistema .....	85
3.5.2.1 Orientação .....	86
3.5.2.2 Sistema .....	86
3.5.2.3 Perdas detalhadas .....	88
3.5.3 Definir sucessivas variantes do sistema .....	89
3.5.3.1 Horizonte (“ <i>horizont</i> ”) .....	90
3.5.3.2 Sombreamentos próximos (“ <i>near shadings</i> ”).....	91

3.5.3.3 Layout dos módulos (“ <i>module layout</i> ”).....	91
3.5.3.4 Avaliação econômica (“ <i>economic evaluation</i> ”).....	92
3.5.4 Relatório.....	95
3.5.5 Base de dados.....	100
3.5.6 Ferramentas.....	100
3.6 RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DOS PROGRAMAS.....	101
3.7 OUTROS PROGRAMAS DE DIMENSIONAMENTO.....	103
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>104</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>106</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Os combustíveis fósseis demoraram milhões de anos para se acumularem na natureza, e com o uso intensivo pelo homem, as reservas caminham para o esgotamento. A queima de grandes volumes destes combustíveis está causando mudanças dramáticas no clima, com impactos sobre o meio ambiente e a própria humanidade. A comunidade científica tem alertado para a adoção de medidas imediatas para mitigação dos efeitos nefastos provocados pelo aquecimento global, incluindo esforços no aumento da eficiência energética e no uso de fontes alternativas renováveis.

O Brasil é referência mundial no uso de energias renováveis, apresentando uma matriz de geração elétrica predominantemente renovável, com 73,67% de capacidade instalada. A base da matriz é a geração hidráulica, com 1.065 usinas que representam 64,14% da capacidade. A soma das participações das demais fontes renováveis totaliza 9,53% (ANEEL, 2013). Em relação à energia elétrica consumida no Brasil, a participação das energias renováveis foi de 88,8% em 2011, enquanto que a média mundial foi de 19,5% (EPE, 2012). A demanda crescente de energia no Brasil, necessária para sustentar o seu crescimento, combinada com a expectativa de esgotamento das reservas dos combustíveis fósseis, contribui para buscar a evolução da participação das energias renováveis na matriz energética brasileira.

Iniciativas governamentais recentes estão sendo implementadas para apoiar o desenvolvimento da indústria, serviços e mercado fotovoltaicos no Brasil. Em 1994 o PRODEEM - Programa para o Desenvolvimento da Energia nos Estados e Municípios - foi criado com a finalidade de levar serviços de energia para as comunidades isoladas das regiões norte e nordeste, sem acesso à rede elétrica convencional (CRESESB, 2004).

O PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - implantado em 2003, foi a primeira iniciativa para a implantação de energias renováveis na matriz energética brasileira. Somente a partir de 2009, as plantas alternativas tiveram de fato um grande impulso, com o lançamento dos primeiros leilões exclusivos de energia limpa, em condições financeiras diferenciadas e linhas de crédito especiais para atrair os investimentos, buscando atender à demanda futura com a diversificação da matriz energética com fontes

renováveis, para a diminuição estratégica da dependência da energia hídrica, cujo regime de chuvas apresenta a sazonalidade natural das estações do ano (EPE, 2012).

Por fim em 2012, por meio da Resolução nº 482/2012 da ANEEL, foi dado importante passo rumo à consolidação e popularização das energias renováveis, pela regulamentação da modalidade de micro e mini geração distribuída de sistemas conectados às redes de baixa tensão. Em países da Comunidade Europeia, a regulamentação similar é mais antiga como, por exemplo, na Alemanha, a micro geração distribuída foi regulamentada em 1991 (RÜTHER et al., 2008). A ANEEL, com esta regulamentação, quer reduzir as barreiras para o desenvolvimento do setor fotovoltaico no Brasil, provendo incentivos tais como a paridade tarifária com a energia convencional, com foco no estabelecimento de um mercado doméstico e promoção da indústria local de componentes de sistemas fotovoltaicos (JANNUZZI et al., 2012).

No Brasil, o panorama atual de produção de eletricidade a partir da tecnologia fotovoltaica tem pequena parcela de participação na matriz de energia elétrica, com capacidade instalada de 2.691 kWp no mês de agosto de 2013, já considerando novos mini e micro geradores (ANEEL, 2013). Contudo, segundo o relatório anual de 2013 da EPIA, a tecnologia fotovoltaica representa, a nível mundial, a terceira mais importante energia renovável de capacidade instalada em 2012, depois da energia hidráulica e eólica, e pelo segundo ano consecutivo na Europa (2011 e 2012), representou a maior capacidade instalada das novas fontes de geração de eletricidade.

Pela sua posição geográfica privilegiada e dimensões continentais, o Brasil tem um grande potencial para o aproveitamento da energia solar. Este trabalho apresenta os programas de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, de forma a contribuir para a difusão desta tecnologia no Brasil.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Estudar e mostrar a forma de utilização dos programas de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, de diferentes graus de complexidade.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Apresentar o referencial teórico do dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede;
- Apresentar programas disponíveis na *web*, elencando suas características e descrevendo o modo de utilização;
- Apresentar um guia de utilização dos programas existentes atualmente, sistematizando os passos necessários para a sua correta utilização.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Esta revisão se restringe aos programas para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos disponibilizados na *web* pelos seguintes fornecedores mais conhecidos: FRONIUS, SMA e PVSYST (programas de instalação em ambiente Windows), INGETEAM e POWER-ONE (programas *on-line* para navegadores *web*).

## 1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

O dimensionamento de sistemas fotovoltaicos por uma metodologia adequada é a base para a configuração de instalações eficientes, minimizando os riscos de superdimensionamento ou subutilização dos equipamentos, mantendo a característica de baixo índice de defeitos e pouca manutenção, maximizando a sua vida útil, proporcionando o retorno dos investimentos e ganhos nos prazos projetados.

A Resolução nº 482/2012 da ANEEL permite que pessoas físicas e jurídicas façam geração própria com sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica até a potência instalada de 1 MW (ANEEL, 2012). O Brasil passou a atrair investimentos em energias renováveis desde a desaceleração das economias norte-americana e europeia, assim a referida regulamentação poderá incrementar as plantas de energias alternativas (EPE, 2012).

O Brasil tem disponibilidade de radiação solar que varia de 1.500 até 2.200 KWh/m<sup>2</sup>/ano, apresentando enorme potencial para a expansão da capacidade instalada dos sistemas fotovoltaicos, além do clima ensolarado proporcionar uma geração de eletricidade anual mais uniforme (MARTINS et al., 2008). Assim, as

instalações fotovoltaicas no Brasil podem apresentar melhor desempenho que os países mais desenvolvidos do hemisfério norte, os quais se ressentem da pouca radiação solar nos meses mais frios, havendo grande desperdício de sua capacidade instalada de geração fotovoltaica ao longo do ano.

O aumento da demanda por novas instalações fotovoltaicas pode suscitar a pesquisa de novas tecnologias que aumentem a eficiência energética e promovam a queda de custos.

#### **1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

A pesquisa será do tipo exploratória, sendo a análise documental o principal instrumento para a coleta de dados, que poderá ser através da consulta a livros, artigos técnicos, *sites* e revistas especializados, *datasheets* e manuais de fabricantes, terminando numa ampla revisão da literatura disponível.

#### **1.5 ORGANIZAÇÃO DO TCC**

Este TCC é composto de quatro capítulos, os quais apresentam aspectos teóricos e os programas de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (*softwares* proprietários), disponibilizados por fabricantes líderes de inversores CC-CA e pela comunidade científica.

A primeira parte desta monografia encontra-se inserida nas seções deste capítulo inicial: 1.1 Objetivos, 1.2 Delimitação do estudo, 1.3 Justificativa e relevância e 1.4 Procedimentos metodológicos, enquanto o restante da dissertação organiza-se da seguinte forma: No capítulo 2, apresentam-se os aspectos teóricos da energia solar fotovoltaica. O capítulo 3 descreve os programas disponibilizados pelas seguintes empresas: FRONIUS, INGETEAM, POWER-ONE, SMA e PVSYST. O capítulo 4 apresenta as considerações finais a respeito do trabalho

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, procurou-se definir os aspectos teóricos utilizados nesta pesquisa, na realização de revisão bibliográfica discorrendo sobre a energia solar fotovoltaica.

### 2.1 ENERGIA SOLAR

A energia solar provém de um processo termonuclear que ocorre no núcleo do sol, o qual converte a cada segundo cerca de 700.000.000 toneladas de hidrogênio em hélio, a uma temperatura de 15.000.000°K (UFSC, 2004).

Somente uma pequena parcela equivalente a 0,4 bilionésimos do total irradiado pelo Sol alcança a Terra, sendo a densidade de potência média na estratosfera terrestre de  $1.367 \text{ W/m}^2$ , conforme dados da WMO - *World Meteorological Organization* (CRESESB, 2004). Na passagem pela atmosfera, a radiação sofre perdas e atenuações provocadas pela reflexão, dispersão e absorção, reduzindo a potência luminosa na superfície da Terra. Assim, para um dia claro ao nível do mar, a potência luminosa em uma superfície perpendicular ao sol será de aproximadamente  $1.000 \text{ W/m}^2$ . A Figura 1 ilustra as formas da radiação solar que incidem sobre a superfície terrestre:

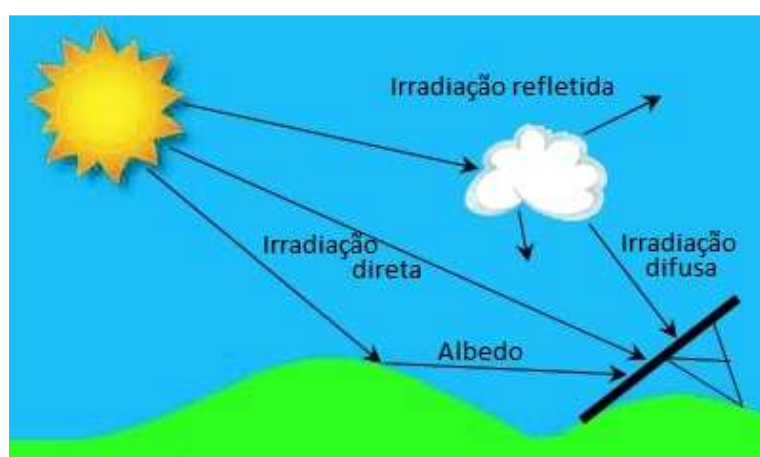
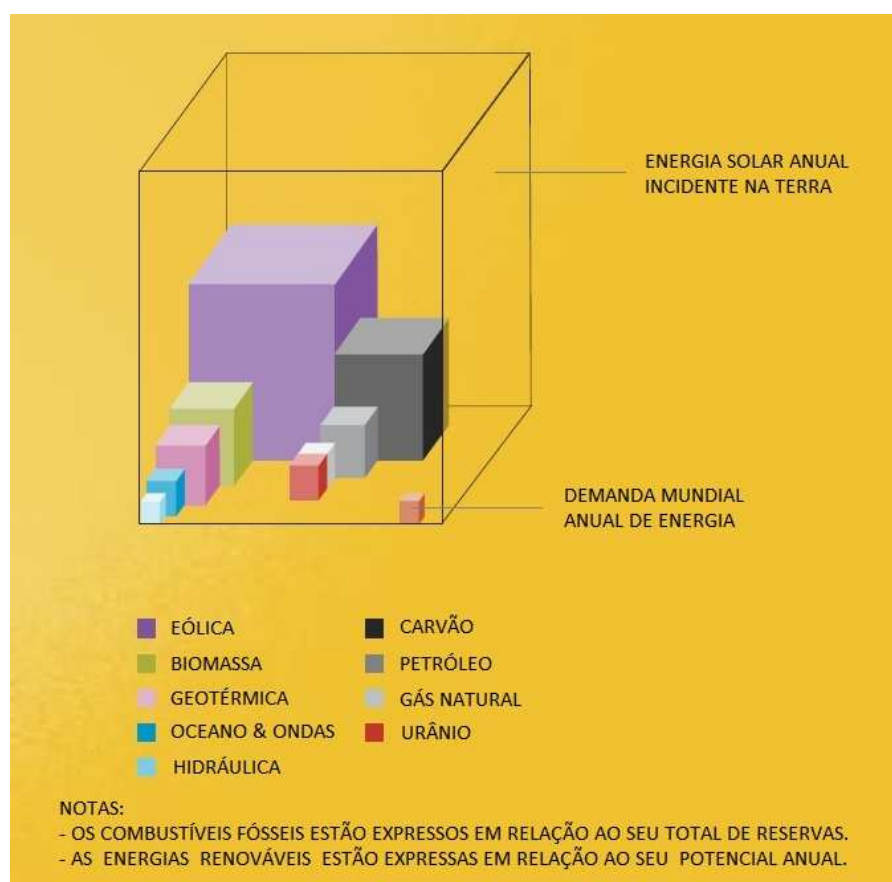


Figura 1 - Radiação solar, difusa e refletida  
Fonte: Adaptado de SOLAR FUNDAMENTALS, 2007

A radiação direta é a parcela que incide diretamente no objeto. A radiação difusa é a parcela que recebeu uma difusão ao incidir sobre outros objetos. Tanto a

radiação direta quanto a radiação difusa são utilizáveis. Existem localidades nas quais a radiação difusa é maior do que a direta, devido à sua localização geográfica ou estação do ano. A radiação refletida é a parcela da radiação total que é refletida ao incidir sobre um objeto, também existindo para as superfícies receptoras inclinadas em relação a horizontal uma componente de radiação refletida pelo ambiente, tais como o solo, rochas, vegetação, água, obstáculos, cujo coeficiente de reflexão é denominado albedo (SOLAR FUNDAMENTALS, 2007).

A energia total anual que chega à superfície terrestre é de cerca de  $1,5 \times 10^{18}$  kWh, estima-se que o consumo anual de energia é de cerca de  $10^{14}$  kWh. Para ordem de grandeza, 1/10.000 da energia que o sol envia a Terra ou 0,01% desta energia seria o suficiente para atender toda a demanda anual de energia da humanidade (CRESESB, 2004). A Figura 2 ilustra a comparação da quantidade de energia solar incidente na Terra, a demanda mundial de energia anual e os recursos energéticos conhecidos.



**Figura 2 - Comparativo entre a energia solar anual incidente na Terra, a demanda mundial de energia anual e os recursos energéticos conhecidos**  
**Fonte: Adaptado de Greenpeace e EPIA, 2010**

## 2.2 INFLUÊNCIA DA LATITUDE NA POTÊNCIA LUMINOSA RECEBIDA

Observa-se que as regiões da Terra recebem diferentes níveis de irradiação diárias do sol (em kWh por m<sup>2</sup> por dia), conforme a sua latitude, a estação do ano (inverno ou verão) e clima local predominante. Na Figura 3, estão valores mínimos e máximos anuais para as piores e melhores localidades naquelas latitudes, com base em dados publicados pela NASA, não sendo necessariamente os valores observados no inverno e no verão (SOLAR FACTS, 2013).



Figura 3 - Níveis de irradiação anual mundial em relação às linhas de latitude

Fonte: Adaptado de Solar-facts.com, 2013

Nas latitudes próximas da linha do equador (+10° e -10°), os valores de irradiação são muito elevados durante o ano todo. O Brasil situa-se nas latitudes compreendidas desde pouco acima da linha do equador em +5° 16' 20" N até -33° 45' 03" S (IBGE, 2013), onde se observam as maiores taxas globais de irradiação de inverno e de verão, enfatizando o grande potencial de geração fotovoltaica do país.

## 2.3 HISTÓRIA DA TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA

O efeito fotovoltaico foi descrito pela primeira vez pelo físico francês Edmond Becquerel em 1839, ao observar que dois eletrodos de platina ou prata em contato com uma solução de sais de prata produzia uma corrente elétrica diretamente proporcional à quantidade de luz incidente. Mais tarde, em 1877, foi desenvolvido por W. G. Adams e R. E. Day o primeiro dispositivo fotovoltaico de produção de

eletricidade por exposição à luz, a partir do selênio, resultado de estudos dos materiais semicondutores de estado sólido. Porém, os princípios da célula solar moderna foram estabelecidos somente em 1954, nas investigações das propriedades gerais do silício pela Bell Laboratories (SULAIMAN et al., 2012).

A tecnologia foi utilizada a partir dos anos 60 em missões espaciais e fonte de alimentação de satélites (CRESESB, 2004). Na primeira crise do petróleo, nos anos 70, as pesquisas por fontes alternativas de energia receberam grandes recursos de governos dos países desenvolvidos. Nesta época foram desenvolvidas as células de silício policristalino, que apesar da menor eficiência energética, eram de fabricação mais fácil e de custos mais baixos, em comparação às células monocristalinas.

Atualmente são largamente utilizadas as células de filme fino, que utilizam menos materiais e energia em seu processo de fabricação do que as células policristalinas, abaixando mais os custos. O silício, que é um elementos mais abundantes da superfície da Terra, continua sendo a principal matéria prima na produção de módulos fotovoltaicos (CRESESB, 2004).

## **2.4 EFEITO FOTOVOLTAICO**

O efeito fotovoltaico é a transformação da radiação solar em eletricidade. É um processo limpo, em que nenhum material é consumido ou transformado, assim poderia funcionar indefinidamente na presença de radiação luminosa. A célula fotovoltaica é constituída por elementos de características semicondutoras, em geral o silício, cujo átomo apresenta quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. Por um processo conhecido como dopagem, são acrescentadas quantidades baixíssimas de outros materiais, por exemplo, de um lado o boro e do outro lado o fósforo. Assim este material passa a apresentar uma zona de elétrons livres pelo acréscimo do fósforo, denominada camada tipo n, e outra zona de lacunas livres pelo acréscimo do boro, denominada camada tipo p, criando um meio adequado para a ocorrência do efeito fotovoltaico, a junção pn. Na junção, os elétrons livres da camada n buscam o equilíbrio passando para o lado da camada p onde estão as lacunas. O acúmulo de elétrons na camada p deixa este lado da junção carregada com cargas negativas e a redução dos elétrons da camada n deixa este lado da junção carregada com cargas positivas, estabelecendo um campo



elétrico permanente na junção pn que impede a circulação de mais elétrons da camada n para camada p. Quando a junção pn é exposta à luz, os fótons são absorvidos pelos elétrons. Quando os fótons tem energia suficiente para superar a barreira do *gap*<sup>1</sup>, as ligações entre os elétrons são quebradas e os elétrons livres são conduzidos pelo campo elétrico para a camada n e as lacunas criadas seguem para a camada p. Contatos elétricos são aplicados à superfície das camadas p e n, para a captação dos portadores gerados. Quando estes contatos estão ligados a uma carga, ocorre a circulação de uma corrente elétrica. A Figura 4 ilustra o conceito de funcionamento do efeito fotovoltaico (CRESESB, 2004).

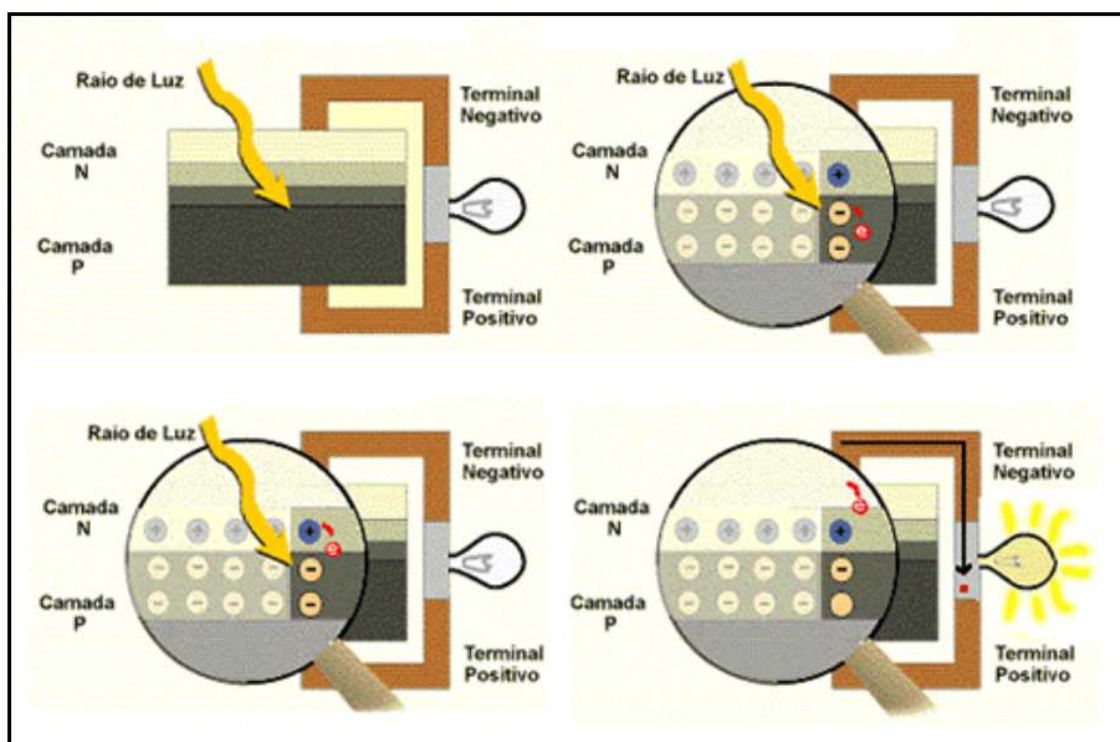


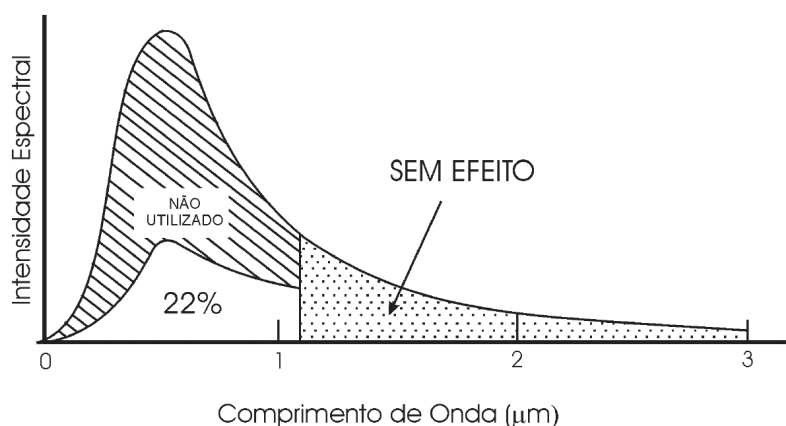
Figura 4 - Princípio de funcionamento do efeito fotovoltaico  
Fonte: CRESESB, 2004

## 2.5 PERDAS EM UMA CÉLULA FOTOVOLTAICA DE SILÍCIO

A energia da radiação não é integralmente convertida em energia elétrica pela célula fotovoltaica real, pois existem vários fatores que introduzem perdas no processo.

<sup>1</sup> O *gap* é a quantidade de energia necessária que deve ser absorvida por um elétron da banda de valência para este passar para a banda de condução (CRESESB, 2004).

O principal limitador para a conversão da radiação solar em eletricidade é o espectro da sua radiação. O espectro espalha-se por uma faixa ampla, mas apenas a parcela com comprimento de onda inferiores a  $1\ \mu\text{m}$  é capaz de excitar os elétrons das células fotovoltaicas constituídas de silício, conforme mostra a Figura 5.



**Figura 5 - Conversão de energia luminosa numa célula de Silício**  
**Fonte: CRESESB, 2004**

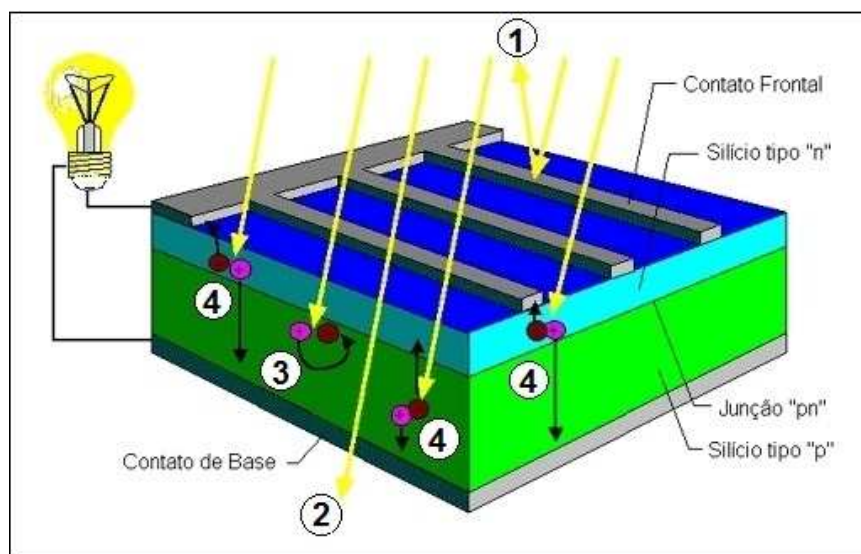
Outra limitação importante, é que cada fóton só consegue excitar um elétron. Portanto, para fótons com energia superior à energia do *gap*, haverá um excesso de energia que será convertida em calor. Por fim, dentre os elétrons excitados pela radiação, uma parcela pode ainda se recombinar na junção e não contribuir para a corrente elétrica (CRESESB, 2004).

Logo, o balanço energético em uma célula fotovoltaica de silício típica recebendo 100% de energia irradiada, apresenta as seguintes perdas:

- 3% de reflexão e sombreamento dos contatos frontais (item 1 da Figura 6);
- 23% de energia insuficiente no fóton na radiação de onda longa (item 2 da Figura 6);
- 32% excedente de energia do fóton na radiação de onda curta (item 2 da Figura 6);
- 8,5% na recombinação elétron-lacuna (item 3 da Figura 6);
- 20% no gradiente elétrico da região da barreira de potencial da junção pn;

- 0,5% na resistência em série (perdas térmicas da condução elétrica).

Descontadas as perdas, a energia convertida pelo efeito fotovoltaico em uma célula fotovoltaica de silício típica resulta efetivamente em cerca de 13% (item 4 da Figura 6). O desafio tecnológico na fabricação de células fotovoltaicas é reduzir esses efeitos (CRESESB, 2004).



**Figura 6 - Perdas na conversão em uma célula fotovoltaica**  
 Fonte: Adaptado de CRESESB, 2004

## 2.6 CÉLULA FOTOVOLTAICA

A célula fotovoltaica é o componente mais importante de um sistema fotovoltaico e a sua função é fazer a conversão direta da energia solar em eletricidade (CRESESB, 2004). Uma célula fotovoltaica é basicamente um diodo semicondutor construído com uma área de junção maior, com a finalidade de facilitar a entrada da radiação luminosa.

## 2.7 TECNOLOGIA DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Os semicondutores mais apropriados à conversão da luz solar são os que geram o maior produto corrente-tensão para a luz visível, já que a maior parcela de energia fornecida pela radiação do sol está dentro da faixa visível do espectro. O material semicondutor necessita passar por vários processos para a produção da

célula fotovoltaica. Os principais processos são: purificação e dopagem com elementos adequados (CRESESB, 2004).

Para a construção da célula fotovoltaica, teoricamente poderia ser considerada toda a família de materiais semicondutores, no entanto, o elemento mais utilizado é o silício (Si), pela sua grande disponibilidade na crosta terrestre. Existem várias tecnologias de construção de células fotovoltaicas de silício (Si) utilizando diferentes materiais, sendo as principais: as células de silício monocristalino (mono-Si), células de silício policristalino (poly-Si) e células de silício amorfo (a-Si) ou filme fino. Outros materiais utilizados em células fotovoltaicas são o *cadmium telluride* (CdTe) e o *copper indium diselenide* (CIS). São utilizadas também combinações desses materiais. A Figura 7 apresenta a classificação das famílias de tecnologias fotovoltaicas.

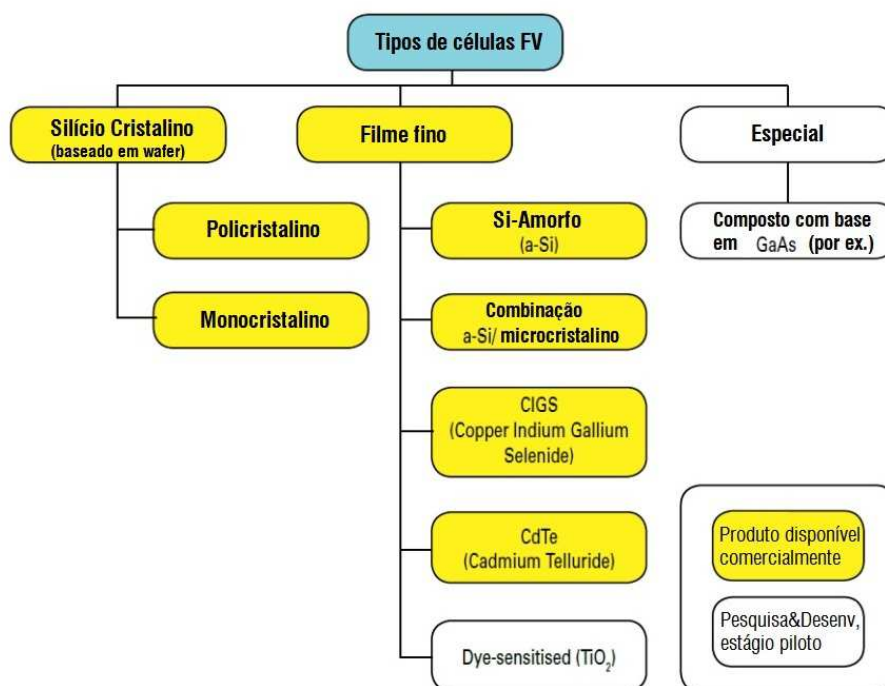
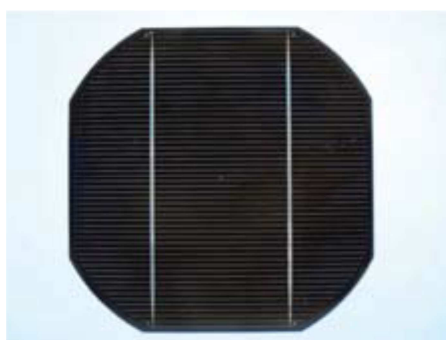


Figura 7 - Classificação das famílias de tecnologias fotovoltaicas  
Fonte: Adaptado de EMA, Singapura, 2011

### 2.7.1 Células monocristalinas

São células que pertencem à primeira geração, elaboradas a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino de alta pureza (Si = 99,99% a 99,9999%), utilizando-se o processo Czochralski, que se baseia no crescimento lento e uniforme do cristal em torno de uma semente de cristal, em reatores sob atmosfera

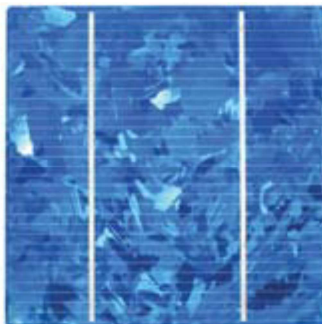
controlada, com utilização de muito tempo e energia no processo (CRESESB, 2004). As barras necessitam ser um cristal único por toda sua extensão e são cortadas em forma de pastilhas quadradas de 0,4 a 0,5 mm de espessura. A uniformidade da estrutura molecular do cristal é o ideal para potencializar o efeito fotovoltaico. A eficiência da conversão de luz em eletricidade é da ordem de 14%. Tem longa durabilidade, acima de 20 anos, além de estabilidade na produção de eletricidade. A principal desvantagem é ter custos de produção elevados (FREITAS, 2008). A Figura 8 mostra o aspecto da célula de silício monocristalina.



**Figura 8 - Célula de silício monocristalino**  
Fonte: EMA, Singapura, 2011

### **2.7.2 Células policristalinas**

São células também da primeira geração, elaboradas com utilização de menos material e energia, fundindo o silício puro em lingotes e o resfriando lentamente, ficando a sua estrutura molecular organizada em vários pequenos cristais. A descontinuidade cristalina dificulta a movimentação dos elétrons, aumentando a taxa de recombinação e reduzindo a eficiência da conversão fotovoltaica, que é da ordem de 13% nestas células, portanto ligeiramente inferior às células monocristalinas. Ainda assim, esta tecnologia apresenta uma interessante relação custo-benefício, com custos de produção ainda relativamente elevados, porém menores que as das células monocristalinas (FREITAS, 2008). As características de durabilidade e estabilidade de produção são semelhantes às das células monocristalinas. A Figura 9 mostra o aspecto da célula de silício policristalina.



**Figura 9 - Célula de silício policristalino**  
Fonte: EMA, Singapura, 2011

### 2.7.3 Células de filme fino

São células de segunda geração, obtidas por meio da deposição de camadas extremamente finas de silício (a-Si), não mais que 0,5  $\mu\text{m}$  de espessura, sobre superfícies de vidro, metal ou outro material sintético. Por não apresentar uma estrutura molecular tão regular quanto a de um cristal, a eficiência na conversão de luz solar é baixa, de apenas 7,5%, cerca de metade da eficiência das células cristalinas, porém os custos de produção correspondem à metade dessas. Devido ao efeito Staebler-Wronski, o rendimento dessas células diminui de 10% a 15% nos 6 meses iniciais de produção, até se estabilizar na potência nominal especificada. No entanto, este efeito tem sido minimizado através da adoção de células com múltiplas camadas. Apresenta desempenho superior para clima encoberto e luz difusa que o silício cristalino, bem como melhores desempenhos em temperaturas elevadas de operação, sendo adequada para países de clima quente, tal como o Brasil (EMA, 2011). Além das instalações fotovoltaicas, a sua gama de aplicações se estende aos pequenos produtos de consumo, tais como: relógios, calculadoras, pois apresenta bom rendimento também sob a luz fluorescente. Melhores desempenhos já estão sendo obtidos com células de filme fino multi-junções (duas ou três junções) atingindo uma eficiência de conversão de até 15%. Outro atrativo da tecnologia é um menor *energy pay-back time*, que é o tempo de uso necessário para 'pagar' pela energia gasta na fabricação do módulo, da ordem de 1  $\text{kW}/\text{m}^2$ . A durabilidade varia conforme a tecnologia. A Figura 10 mostra o aspecto da célula de silício amorfo sobre filme fino.



**Figura 10 - Células de silício amorfo sobre filme fino flexível**  
Fonte: EMA, Singapura, 2011

Existem no mercado outras células de filme fino que não utilizam o silício, tais como: disseleneto de cobre e índio (CIS), disseleneto de cobre, gálio e índio (CiGS) e telureto de cádmio (CdTe). Estas células mantêm as vantagens de bom desempenho em sombreamento e luz difusa, também pouca queda de rendimento sob temperaturas elevadas. A eficiência é pouco menor que as células de silício cristalino, da ordem de 10 a 12%, porém superior às células de silício amorfo (a-Si). A Figura 11 mostra o aspecto da célula de silício filme fino CIGS.



**Figura 11 - Células de silício filme fino CIGS**  
Fonte: EMA, Singapura, 2011

#### **2.7.4 Outras tecnologias de células fotovoltaicas**

Novas tecnologias bastante promissoras, ditas de 3ª geração, estão recebendo grandes investimentos, projetando-se aumento da eficiência da conversão fotovoltaica e custos mais baixos, porém seus processos de desenvolvimento ainda estão sendo aprimorados. São as tecnologias: nanocristalinas sensibilizadas com colorantes, microcristalinas, micromorfadas e híbridas (células solares HCl) (IST, 2004).

As seguintes tecnologias apresentam resultados relevantes: o sulfeto de



cobre/sulfeto de cádmio ( $\text{Cu}_2\text{S}/\text{CdS}$ ), um semiconductor com características de alta eficiência e potência elevada; o semiconductor III-V arsenieto de gálio (GaAs) com rendimento de conversão acima de 25%, características de resposta da luz vs potência não-linear e menor dissipação de calor, que o tornam ideal para aplicações em sistemas de concentradores (CSP) (IST, 2004). As células de semicondutores III-V são obtidas pela combinação do grupo III (essencialmente: Ga - gálio, In - índio) com o grupo V (essencialmente: N - nitrogênio, P - fósforo, As - arsênio). As outras combinações importantes são: GaInP – *gallium indium phosphide*, GaInAs – *gallium indium arsenide* e GaInN – *gallium indium nitride*, as quais apresentam características de alta potência e rendimento de conversão de até 35%, tem como aplicações sistemas de alimentação de satélites.

## 2.8 EFICIÊNCIA DAS TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS

O Quadro 1 apresenta os rendimentos teóricos, máximos e típicos obtidos em cada tecnologia de célula fotovoltaica.

Tecnologia da Célula	Eficiência da conversão fotovoltaica		
	Obtida em Laboratório	Produção Máxima a campo	Produção típica
Silício Monocristalino	24,7%	18%	14%
Silício Policristalino	19,8%	15%	13%
Silício Policristalino EFG	19,7%	14%	13%
Filme Fino	19,2%	9,5%	7,9%
Silício Amorfo*	13%	10,5%	7,5%
Silício Micromorfo*	12%	10,7%	9,1%
Híbrido HCl	20,1%	17,3%	15,2%
CIS, CIGS	18,8%	14%	10%
Telureto de Cádmio - CdTe	16,4%	10%	9%
Semiconductor III-V	35,8% **	27,4%	27%
Célula com Corante	12,0%	7%	5% ***

\* no estado estável  
 \*\* medida com um fluxo concentrado de radiação  
 \*\*\* séries de produção limitada

**Quadro 1: Eficiência da conversão fotovoltaica de diversas tecnologias**  
 Fonte: Energia fotovoltaica – Manual, IST, 2004

## 2.9 MÓDULO FOTOVOLTAICO

O efeito fotovoltaico produz corrente contínua, com valores médios de 3 A e tensão aproximada de 0,4 V, em seu ponto de máxima potência. Individualmente a sua potência elétrica é baixa, da ordem de 1 a 3 W, assim é necessário associá-las



em série ou paralelo, dependendo da potência e tensão desejadas, e por fim montadas em uma única peça denominada módulo ou painel fotovoltaico (CRESESB, 2004).

### 2.9.1 Associação de células em série

Na associação de células em série, as suas tensões individuais são somadas, conforme a equação 1, permanecendo a mesma corrente, segundo a equação 2. A associação em série dos dispositivos fotovoltaicos é realizada ligando-se um terminal positivo de um dispositivo a um terminal negativo de outro, e assim por diante (CRESESB, 2004).

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (1)$$

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (2)$$

A resultante da ligação em série está ilustrada na Figura 12, através da curva característica I x V.

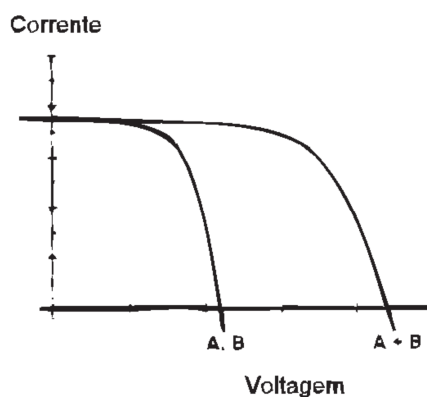


Figura 12 - Curvas I x V para a ligação em série de dois dispositivos FV  
Fonte: CRESESB, 2004

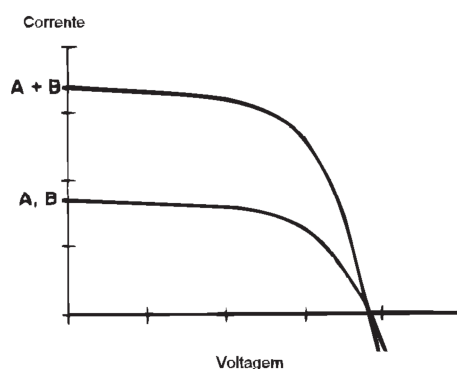
### 2.9.2 Associação de células em paralelo

Na associação de células em paralelo, as suas correntes somam-se, conforme a equação 3, enquanto que a tensão permanece a mesma, segundo a equação 4. A associação em paralelo dos dispositivos fotovoltaicos é realizada interligando-se os terminais positivos juntos e os terminais negativos juntos (CRESESB, 2004).

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (3)$$

$$V = V_1 = V_2 = \dots = V_n \quad (4)$$

A Figura 13 ilustra a resultante da adição das correntes em dispositivos conectados em paralelo, através da curva característica I x V.

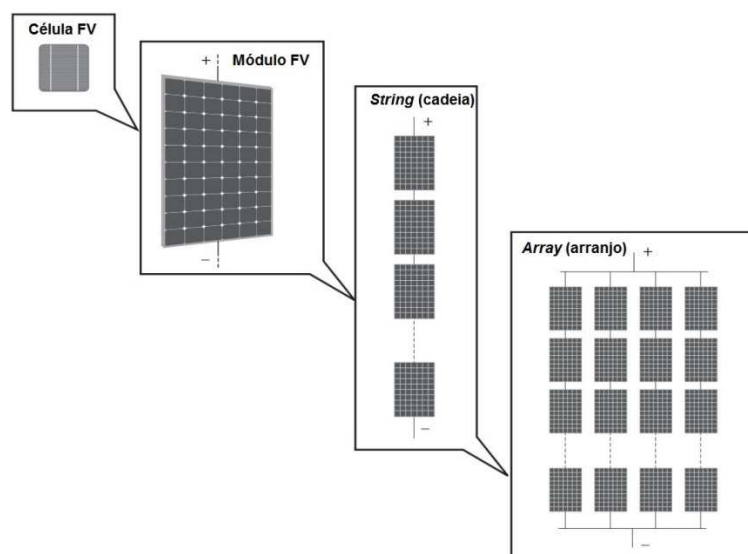


**Figura 13 - Curvas I x V para a ligação em paralelo de dois dispositivos FV**  
**Fonte: CRESESB, 2004**

A grande maioria dos módulos é construída associando em primeiro lugar as células em série até se obter um nível de tensão considerável, e depois as associando em paralelo até alcançar o nível de corrente desejado (FREITAS, 2008). Conforme a Figura 14, o módulo fotovoltaico é composto de várias células interligadas e montadas em um mesmo conjunto. Uma *STRING*<sup>2</sup> é composta de módulos eletricamente conectados em série. Um *ARRAY*<sup>3</sup> é composto de *strings* conectadas em paralelo.

<sup>2</sup> *String* é uma palavra inglesa que denomina a fila ou cadeia de módulos nos sistemas FV.

<sup>3</sup> *Array* é uma palavra inglesa que denomina o arranjo ou combinação dos módulos nos sistemas FV.



**Figura 14 - Componentes de um sistema fotovoltaico: célula, módulo, *string* e array**  
 Fonte: Adaptado de Manual de instalação e operação inversores Aurora, Power-one, 2008

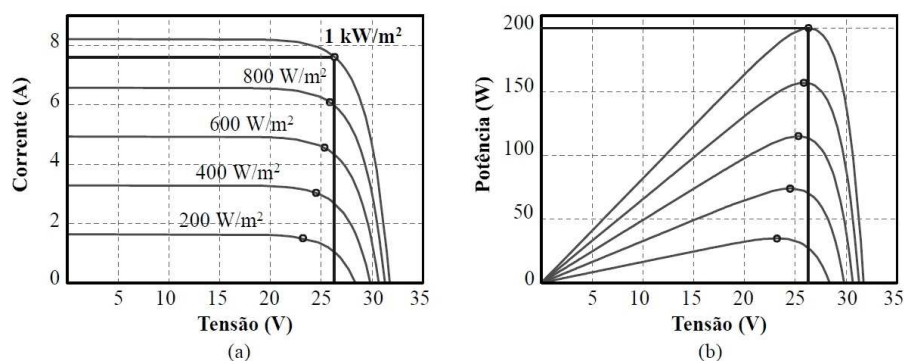
## 2.10 FATORES QUE AFETAM AS CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS MÓDULOS

O desempenho dos módulos fotovoltaicos é diretamente influenciado pela intensidade luminosa e temperatura das células.

### 2.10.1 Intensidade luminosa

A corrente de saída do módulo fotovoltaico aumenta linearmente com o aumento da radiação incidente, assim para um módulo de silício cristalino sob diferentes níveis de intensidade luminosa, são obtidas as curvas características  $I \times V$  conforme a Figura 15 (a) e as curvas  $P \times V$  conforme a Figura 15 (b). A corrente de curto-circuito aumenta de forma aproximadamente linear com o aumento da radiação incidente ao passo que o valor de tensão de circuito aberto pouco varia com a variação da radiação Figura 15 (a). Nas curvas de potência Figura 15 (b), tanto na condição de curto-circuito (tensão na carga = zero), quanto em circuito aberto, a potência fornecida é zero. Observa-se que existe um único ponto onde a potência

fornecida é máxima, conhecida pela sigla em inglês MPP<sup>4</sup> - *Maximum Power Point*. A potência nominal fornecida pela maioria dos fabricantes corresponde a esse ponto, sob um nível de irradiação de 1000W/m<sup>2</sup> (CRESESB, 2004).



**Figura 15 - Curvas (a) I x V e (b) P x V para um módulo FV cristalino, sob diferentes níveis de irradiação solar**  
**Fonte: CRESESB, 2004**

### 2.10.2 Temperatura das células

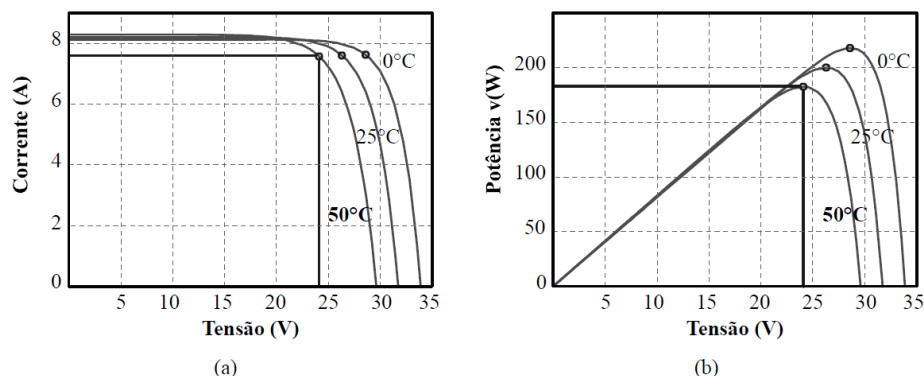
A temperatura das células se eleva conforme aumenta o nível de irradiação e a temperatura ambiente. Apenas parte da luz visível do espectro solar é convertida em energia elétrica pela célula fotovoltaica, não ocorrendo o aproveitamento da maior parte do espectro. Essa energia é então dissipada em forma de calor, causando a variação da temperatura da célula fotovoltaica e alterando o seu MPP. O aumento de temperatura na célula fotovoltaica também incrementa o aparecimento de pares elétrons-lacunas, deste modo aumenta a possibilidade de recombinação de um portador fotogerado, diminuindo a eficiência da conversão (CRESESB, 2004).

A Figura 16 (a) apresenta curvas I x V para diversas temperaturas de célula, onde se verifica que o valor da tensão em circuito aberto diminui com o aumento da temperatura, enquanto que a corrente de curto-circuito tem uma variação quase desprezível.

A Figura 16 (b) do gráfico de potência mostra que comparada com a temperatura de referência de 25°C, o MPP diminui com o aumento da temperatura

<sup>4</sup> MPP é o acrônimo do inglês *Maximun Power Point*, que significa o ponto de máxima potência do módulo FV.

da célula, e por outro lado, o MPP aumenta em baixas temperaturas (CRESESB, 2004).



**Figura 16 - Curvas (a) I x V e (b) P x V devido à variação da temperatura**  
**Fonte: CRESESB, 2004**

As tecnologias de fabricação dos módulos solares apresentam níveis de desempenho diferentes devido ao seu coeficiente térmico, que é uma característica elétrica que tem variação linear devido à temperatura. Os módulos de silício amorfo tem um coeficiente térmico menor que outras tecnologias, assim nos países de clima quente, como o Brasil, os módulos amorfos podem apresentar a menor redução de potência pelo aumento da temperatura que as demais tecnologias (EMA, 2011). O Quadro 2 apresenta os coeficientes térmicos para as diversas tecnologias:

Tecnologia do módulo solar	Coefficiente térmico de redução potência MPP [ % / °C ]
Silício cristalino	-0,37 a -0,52
CIGS	-0,39 a -0,45
CdTe	-0,20 a -0,36
Silício Amorfo – filme fino	-0,10 a -0,30

**Quadro 2: Coeficientes térmicos das tecnologias de células fotovoltaicas**  
**Fonte: Adaptado de Energia fotovoltaica – Manual, IST, 2004**

A Figura 17 mostra as curvas de redução do desempenho das diversas tecnologias de módulos fotovoltaicos, devido ao aumento de sua temperatura acima de 25 °C (temperatura de referência na STC<sup>5</sup> - *Standard Test Conditions*):

<sup>5</sup> STC é o acrônimo do inglês *Standard Test Conditions*, que significa condições de teste padrão dos módulos (1000W/m<sup>2</sup>, 25°C e AM=1,5).

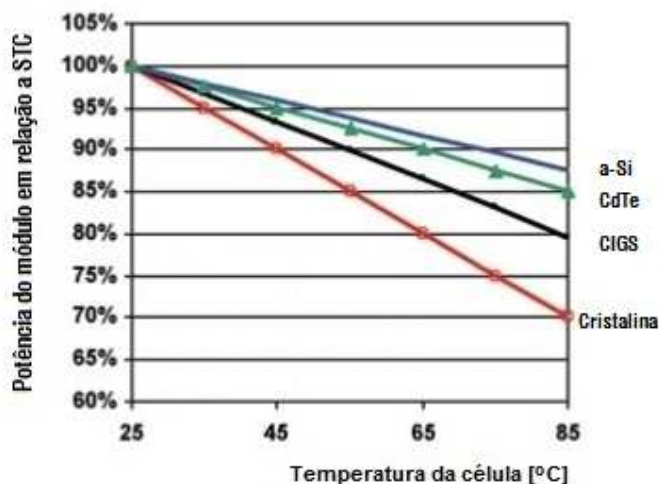


Figura 17 - Efeitos de redução da potência pelo aumento da temperatura  
 Fonte: Adaptado de EMA, Singapura, 2011

## 2.11 INVERSORES CC/CA

Os inversores fazem a conexão do sistema FV com a rede de distribuição, convertendo a energia elétrica CC produzida pelos módulos FV em energia elétrica CA, na tensão e frequência adequadas, atendendo ainda às exigências de qualidade da energia e segurança da rede (CRESESB, 2004). A Figura 18 mostra o conceito de sistema conectado à rede.

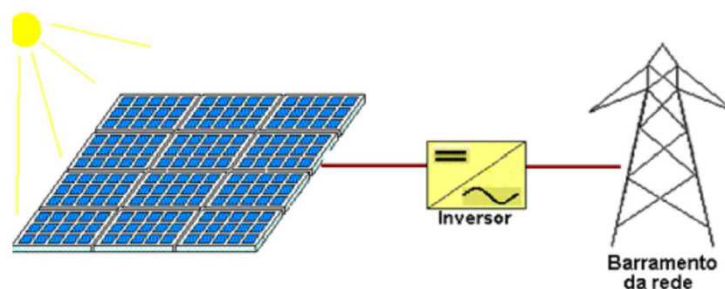


Figura 18 - Sistema conectado à rede  
 Fonte: CRESESB, 2004

O inversor desempenha função ativa no sistema FV, assim no lado CA monitora a rede de distribuição, se desconecta em caso de distúrbios na rede (subtensão, sobretensão, ausência de tensão, etc.), controla a injeção de corrente e sincroniza a sua frequência com a rede. No lado CC, a função principal do inversor é realizar a adequação do MPP dos módulos FV, cujo ponto ideal altera-se constantemente ao longo do dia, dependendo da radiação solar, das condições climáticas e da temperatura, para obter a máxima eficiência de transferência de

energia (CRESESB, 2004).

Uma característica importante do inversor é possuir alta eficiência e confiabilidade, assim os fabricantes tem desenvolvido novas tecnologias, tais como: topologias sem transformadores de acoplamento, inversores com múltiplas entradas MPP e utilização de vários inversores de baixa potência monofásicos.

Os sistemas FV conectados à rede podem utilizar diferentes tipos de inversores, dependendo da configuração dos módulos FV (ABELLA et al., 2004):

- inversor central, para grandes instalações fotovoltaicas, de potência na faixa de 20 a 400 kW, onde os arranjos em série e em paralelo dos módulos FV estão centralizados em um único inversor;
- inversor de *string*, quando é utilizado um inversor por fila de módulos FV em série, de potência na faixa de 1 a 3 kW;
- inversor com módulo integrado, utilizado um inversor por módulo FV;
- inversor de múltiplas *strings*, quando um inversor possui várias entradas CC independentes para várias fileiras de módulos FV em série. Combina as vantagens do inversor de *string* (regulação MPPT - *Maximum Power Point Tracking*, por *string*) e do inversor central (melhor relação custo-potência).

Os fabricantes fornecem as características dos inversores em *datasheets*, sendo esta informação muito importante para selecionar o melhor equipamento para uma determinada instalação fotovoltaica. A Figura 19 e a Figura 20 referem-se, respectivamente, à exemplos de inversores de baixa e elevada potência.

Fronius IG Plus 25	
Gama de tensión Mpp::	230 V - 500 V
Máx. tensión de entrada::	600 V
Potencia nominal:	2600 W
Máx. potencia:	2600 W
Máx. potencia DC:	2740 W
Máx. rendimiento:	95,7%
Euro rendimiento:	94,6%
Refrigeración:	Forzada regulada
Temperatura ambiente/ Humedad del aire:	-20°C - 50°C / 0 - 95%
Peso:	23,8kg
Dimensiones (L x An x Al):	673x434x250 mm

**Figura 19 - Exemplo de inversor monofásico de *string***  
 Fonte: Programa Solar.configurator v.2.8 build 6, Fronius, 2013

Fronius Agilo 100.0-3	
Gama de tensión Mpp::	460 V - 820 V
Máx. tensión de entrada::	950 V
Potencia nominal:	100000 W
Máx. potencia:	100000 W
Máx. potencia DC:	104400 W
Máx. rendimiento:	97,2%
Euro rendimiento:	96,6%
Refrigeración:	Forzada regulada
Temperatura ambiente/	
Humedad del aire:	-20°C - 50°C / 0 - 95%
Peso:	830 kg
Dimensiones (L x An x Al): 1800x1100x700 mm.	

**Figura 20 - Exemplo de inversor central trifásico de alta potência**  
**Fonte: Programa Solar.configurator v.2.8 build 6, Fronius, 2013**

## 2.12 DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FV POR MÉTODO MANUAL

Os principais fatores que limitam a potência instalada são: a área disponível e a disponibilidade financeira, devido aos elevados custos dos equipamentos do sistema. A estimativa inicial da potência do sistema pode ser definida pela quantidade de módulos que podem ser instalados na área disponível, conforme a equação 5, e ainda pela disponibilidade financeira (URBANETZ, 2013):

$$N_{\text{mód}} = \frac{\text{Área}_{\text{disp}}}{\text{Área}_{\text{mód}}} \quad (5)$$

Onde:

$N_{\text{mód}}$  é o número de módulos FV;

$\text{Área}_{\text{disp}}$  é a área disponível [ $\text{m}^2$ ];

$\text{Área}_{\text{mód}}$  área de cada módulo FV [ $\text{m}^2$ ].

A potência do sistema será calculada pela equação 6:

$$P_{\text{FV}} = P_{\text{mód}} \times N_{\text{mód}} \quad (6)$$



Onde:

$P_{FV}$  é a potência total do sistema FV [Wp];

$P_{mód}$  é a potência do módulo [Wp];

$N_{mód}$  é o número de módulos FV.

De posse dos parâmetros locais da inclinação dos módulos, do valor de irradiação média anual do total diário e na potência instalada, é possível estimar a produção de energia elétrica (E) diária média, dada pela equação 7, e inferindo seu valor pela equação 8 (URBANETZ, 2013):

$$P_{FV} = \frac{E.G}{H_{TOT}.PR} \quad (7)$$

$$E = \frac{P_{FV}.H.PR}{G} \quad (8)$$

Onde:

H é a irradiação solar diária média mensal [kWh/m<sup>2</sup>/dia] ;

G é a irradiação incidente nas condições STC (25°C, AM=1,5) 1000 W/m<sup>2</sup> ;

PR é o fator de desempenho global do sistema (Performance Ratio), que considera as perdas: nos módulos FV, no inversor, na instalação, etc. O valor típico normalmente considerado é 0,75.

### 3 PROGRAMAS PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

No mercado encontra-se ampla variedade de programas de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Estes programas são importantes ferramentas para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, pois a maior parte dos programas já contém a base de dados das características dos inversores, dos módulos fotovoltaicos, dos níveis de radiação solar e da temperatura ambiente dos locais de instalação. Devido à diversidade de softwares que abrangem os sistemas fotovoltaicos nas suas diferentes configurações, este estudo se limita a apresentar uma seleção dos mais populares.

A seguir são apresentadas breves descrições dos fornecedores dos programas, em geral fabricantes de inversores e centros tecnológicos de pesquisa, dos programas de dimensionamento disponibilizados, a descrição da sua utilização, tais como: a entrada dos dados, a seleção da combinação (arranjo) ideal dos módulos fotovoltaicos, a potência desejada, resultados, configuração final e relatórios.

#### 3.1 FRONIUS

A FRONIUS é um fabricante de inversores com sede e fábricas na Áustria. Possui escritórios em 18 países, inclusive no Brasil. A FRONIUS possui três divisões: eletrônica solar, máquinas de soldas, carregadores de baterias.

Produz inversores de *string* conectados à rede com potências de 1,5 até 12 kW. Produz inversores sem transformadores para potências de 3 até 5 kW. Também produz inversores de 2,5 kW (monofásicos) a 12 kW (monofásicos, bifásicos ou trifásicos). Para grandes instalações, produz inversores centrais trifásicos com potências de 36 a 100 kW. Todos os modelos contam com tecnologia MPPT. Alguns modelos maiores contam com dois estágios de potência, sendo um mestre e o outro escravo, para aumento da eficiência no caso de pouca energia produzida e, neste caso, somente um estágio é utilizado (tecnologia Fronius *MIX<sup>TM</sup>-Concept*). A garantia padrão é de 5 anos, e a garantia estendida é de 10, 15 e 20 anos (FRONIUS, 2013).

## PROGRAMA FRONIUS SOLAR.CONFIGURATOR

O software é fornecido gratuitamente, porém só permite a utilização dos modelos de inversores produzidos pela FRONIUS. Possui facilidade para acrescentar novos modelos de módulos fotovoltaicos. O programa possui oito idiomas para seleção da interface de trabalho, porém para o usuário brasileiro ainda não existe interface traduzida para o português, assim os idiomas mais amigáveis são: inglês e espanhol. O programa tem um manual do usuário bem organizado e completo, em formato pdf em oito idiomas, sendo 28 páginas para cada idioma, o qual acompanha o pacote de instalação do programa. O programa compactado pode ser obtido no site da empresa <<http://www.fronius.com>>, na aba: Solar Electronics, Info&Support, Software Downloads, Fronius Solar.configurator 2.8.7 (em abril/2013) em formato ZIP e tamanho de 24,6 MB.

Os requisitos do sistema:

Sistema MS-Windows 2000 ou XP, Microsoft.NET Framework 2.0, processador de frequência 1 GHz e 256 MB RAM. O programa de instalação do Solar.configurator instala automaticamente o Microsoft.NET Framework 2.0, necessário para execução de aplicativos *web*, se não estiver presente no sistema.

Instalação do programa:

- 1- Iniciar o programa de instalação "Fronius Solar.configurator 2.8.7 Setup.exe" com duplo clique. Selecionar o idioma de configuração: espanhol ou inglês, após confirmar;
- 2- o programa instalador abre uma janela de diálogo, clicar em seguinte, após deve aceitar os termos do acordo de licença, depois devem ser preenchidas as informações do usuário, por fim confirmar ou alterar a pasta de destino.
- 3- clicar em instalar, aguardar completar a instalação e confirmação, então finalizar.

## OPERAÇÃO

As funcionalidades do programa de dimensionamento Fronius Solar.configurator são relacionadas a seguir, considerando-se a interface

selecionada para o idioma espanhol.

## BARRAS DE MENUS

Possui os seguintes menus principais: *archivo*, base de *datos*, idioma, *información*.

*ARCHIVO* (ARQUIVO): -“*nuevo*” cria uma nova configuração; -“*abrir*” uma configuração existente; -“*guardar como*” grava a configuração atual; -“*imprimir página*” atual da configuração; -“*hoja de sinopsis*” cria uma folha de resumo do módulo solar selecionado; -“*finalizar*” encerra o programa.

*BASE DE DATOS* (BASE DE DADOS): -“*datos de módulo*” abre os dados técnicos dos módulos solares e possibilita a criação de novos fabricantes e modelos; -“*datos meteorológicos*” abre os dados meteorológicos de um local e possibilita a criação de novos locais; -“*actualización de archivos*” abre arquivos de dados da Fronius com extensão *fdata*; -“*actualización por internet*” realiza a atualização da base de dados; -“*ajustes de internet*” cadastra o servidor de proxy e porta, quando existente; -“*cargar módulos favoritos*” de uma lista personalizada de extensão *mfav* para ser utilizada em outras configurações; -“*exportación de los módulos favoritos*” cria uma lista personalizada de módulos solares em extensão *mfav*, para ser utilizada em outras configurações.

*IDIOMA*: permite definir o idioma para a interface com o usuário, dentre oito opções disponíveis.

*INFORMACIÓN* (INFORMAÇÃO): -“*información*” exibe a versão do programa e da base de dados; -“*condiciones de uso*” são exibidas; -“*ayuda*” abre o manual do usuário em extensão *pdf*

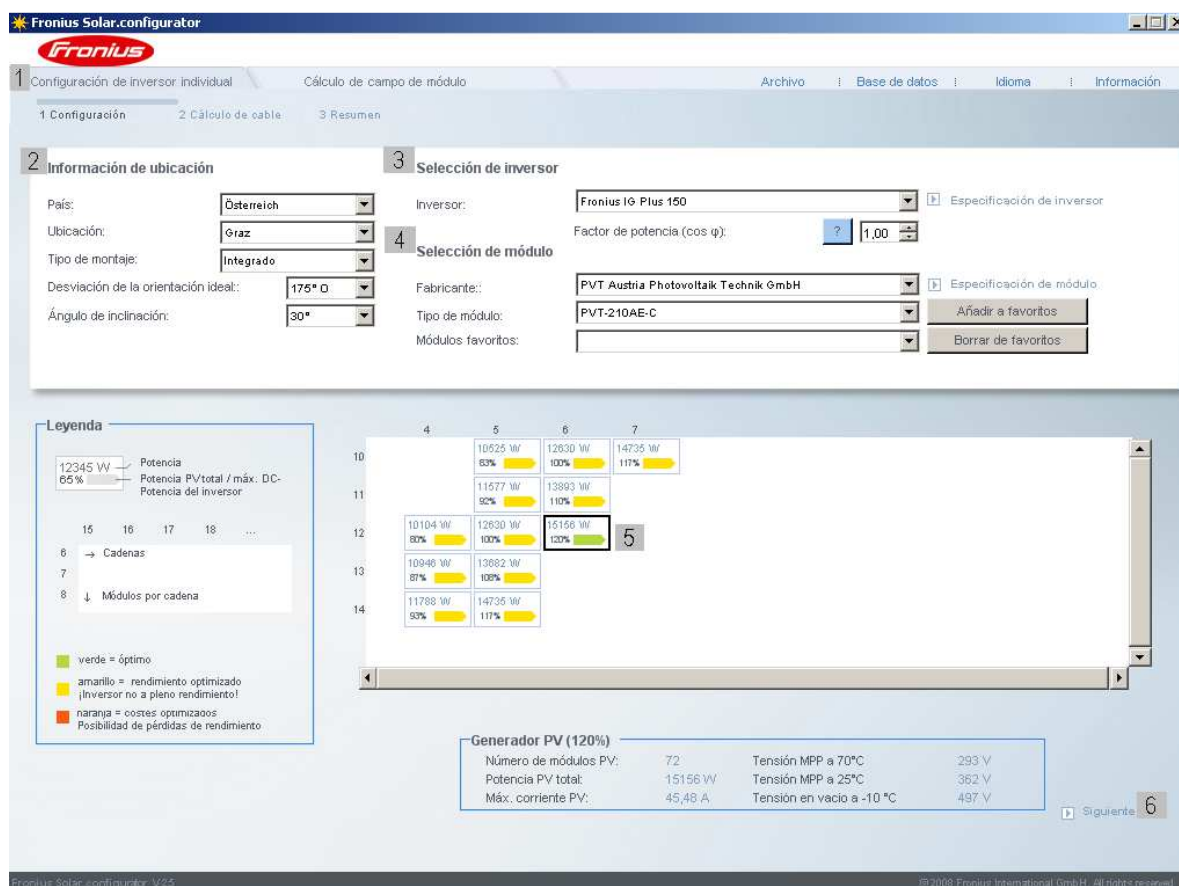
O programa Fronius Solar.configurator realiza o dimensionamento em três passos:

- configuração da instalação, com dois modos do programa: configuração de inversor individual ou configuração de instalações complexas de inversor central;

- dimensionamento dos cabos;
- resumo do dimensionamento da instalação.

### 3.1.1 Modo de configuração de inversor individual

A Figura 21 apresenta os passos necessários, numerados em sequência, para a correta utilização desta etapa do programa:



**Figura 21 - Configuração de instalações por inversores individuais, Solar.configurator**  
Fonte: *Instrucciones de uso Software Solar.configurator v.2.5.x*, Fronius, 2010

Os passos numerados para o dimensionamento na Figura 21 estão descritos a seguir:

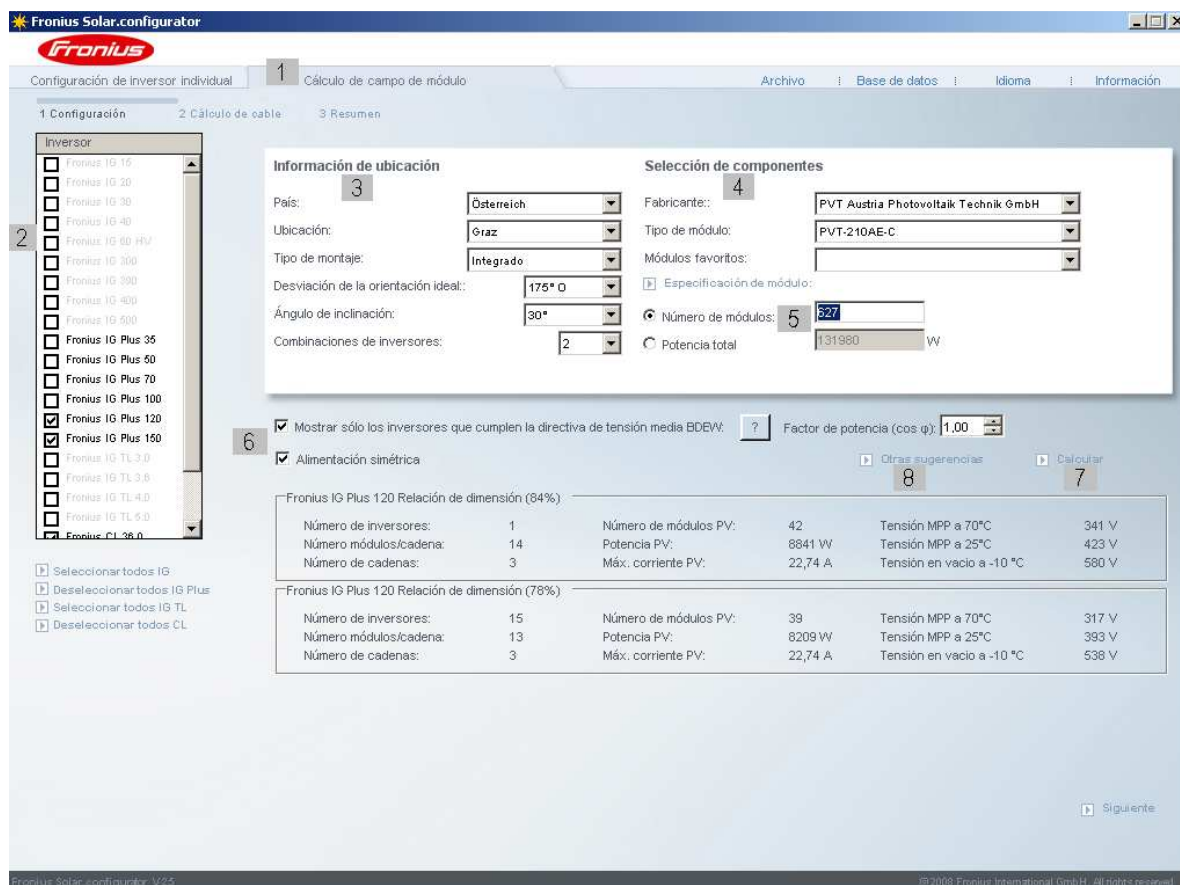
- 1- selecionar a aba configuração de inversor individual;
- 2- selecionar as informações do local;
- 3- selecionar o inversor e visualizar as suas características técnicas;
- 4- selecionar o módulo solar e visualizar as suas características técnicas;
- 5- o campo de seleção de configuração mostra os arranjos possíveis em três cores, conforme a legenda apresentada na janela: vermelho,

amarelo e verde. Selecionar a configuração adequada com ajuda das cores;

- 6- clicar em “seguinte” para continuar com o dimensionamento da instalação.

### 3.1.2 Modo de configuração por inversores centrais

A Figura 22 apresenta os passos necessários, numerados em sequência, para a correta utilização desta etapa do programa:



**Figura 22 - Configuração de instalações por inversores centrais, Solar.configurator**  
**Fonte: Instrucciones de uso Software Solar.configurator v.2.5.x, Fronius, 2010**

Os passos numerados para o dimensionamento na Figura 22 estão descritos a seguir:

- 1- selecionar a aba configuração de cálculo de campo de módulo;
- 2- selecionar o inversor;
- 3- selecionar as informações do local;

- 4- seleccionar o módulo solar e visualizar as suas características técnicas;
- 5- seleccionar “número de módulos” e incluir a sua quantidade, para dimensionamento pela quantidade de módulo projetado, ou seleccionar “potência total” e incluir o seu valor, para dimensionamento pela potência total da instalação;
- 6- seleccionar somente os inversores que atendam às diretivas de tensão média da BDEW - *Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft* (aplicável apenas para a Alemanha); seleccionar “alimentação simétrica”, para que as configurações garantam geração uniforme nas três fases da rede;
- 7- clicar em “calcular” para mostrar os resultados;
- 8- clicar em “outras sugestões” para calcular combinações de inversores opcionais.

A Figura 23 mostra a janela “*otras sugerencias*” (outras sugestões):



**Figura 23 - Outras sugestões de combinações de inversores centrais, Solar.configurator**  
**Fonte: Instrucciones de uso Software Solar.configurator v.2.5.x, Fronius, 2010**

Os passos numerados para sugestões de outras combinações de inversores na Figura 23 estão descritos a seguir:

- 9- seleccionar o número de combinação de inversores e clicar em “calcular”;

- 10-selecionar a combinação de inversores adequada, de acordo com as combinações possíveis exibidas na janela ao lado (item 11);
- 11-selecionar a combinação de inversores;
- 12-clicar em “*cerrar*” e “*siguiente*” para continuar com o dimensionamento da instalação.

### 3.1.3 Dimensionamento dos cabos

A segunda etapa é o dimensionamento de cabos, considerando a configuração selecionada na primeira etapa. A Figura 24 mostra a janela “cálculo de cable”:

The screenshot shows the 'Cálculo de cable' window in the Fronius Solar.configurator software. The window title is 'Fronius Solar.configurator' and the main title is 'Cálculo de campo de módulo'. The interface is divided into three main sections: '1 Configuración', '2 Cálculo de cable', and '3 Resumen'. The '2 Cálculo de cable' section is active and displays a diagram of the system configuration and a table of cable parameters.

The diagram shows a system configuration with 3 Cadenas (strings) connected to 1x Fronius IG Plus 120 inverter, which is connected to a String Control 250/25, and finally to a Fronius IG Plus 120 Red inverter, which is connected to an 'Instalación parcial 2 de 2' (partial installation 2 of 2).

The table below shows the cable parameters for each component:

Component	Módulos	Módulos <> String Control 250/25	String Control 250/25 <> Fronius IG Plus 120	Fronius IG Plus 120 <> Red
Módulos	13			
Cadenas	3	Longitud de cable cadena: 121 m Longitud de cable total: 363 m	Distancia al inversor: 4 m Longitud de cable total: 6 m	Longitud de cable: 1 m Longitud de cable efectiva: 1 m
Tensión en vacío	538,46 V	Sección transversal de cable: 16 mm <sup>2</sup>	Sección transversal de cable: 2,5 mm <sup>2</sup>	Sección transversal de cable: 2,5 mm <sup>2</sup>
Corriente de cortocircuito	7,58 A	Pérdidas %: 0,30	Pérdidas %: 0,28	Pérdidas %: 0,03
				Resistencia de potencia por fase: 0,01 Ω

At the bottom of the window, there is a dropdown menu for 'Seleccione una opción de conexión!' with 'String Control 250/25' selected. To the right, there is a summary box showing 'Pérdida total: 40.34 W' and 'Pérdida total %: 0.61'. Below this, there are buttons for 'Volver' and 'Siguiente'.

**Figura 24 - Dimensionamento de cabos, programa de dimensionamento Solar.configurator**  
**Fonte: Instrucciones de uso Software Solar.configurator v.2.5.x, Fronius, 2010**

Os passos para o dimensionamento numerados na Figura 24 estão descritos a seguir:

- 1- seleccionar a opção de conexão;
- 2- se necessário, incluir o comprimento do cabo entre os módulos solares e



a opção de conexão ou o comprimento do cabo entre os módulos solares e o inversor;

- 3- se necessário, incluir o comprimento do cabo entre a opção de conexão e o inversor;
- 4- incluir o comprimento do cabo entre o inversor e a rede pública;
- 5- clicando sobre “*propuesta de sección transversal*”, o programa calcula em cada trecho a seção dos cabos em mm<sup>2</sup> e as perdas em %, apresenta também as perdas totais dos cabos em W e em %;
- 6- clicar em “*siguiente*” para calcular as seções transversais de outras instalações parciais ou para continuar com o dimensionamento da instalação.

### 3.1.4 Resumo da instalação

A última etapa é a apresentação do dimensionamento da instalação. A Figura 25 mostra a janela “*resumen*”:

The screenshot shows the 'Fronius Solar.configurator' software interface. The main window is titled 'Resumen' and contains a schematic diagram of a solar installation. Below the diagram, there is a table of technical specifications for 'Instalación parcial 2'.

Datos de módulo		Fronius CL60.0	1 unidades:	Configuración para String Control	
Fabricante:	PVT Austria Photovoltaik Technik GmbH			Número de cadenas para String Control 1:	17
Módulo	PVT-210AE-C			Número de cadenas para String Control 2:	16
Tensión en vacío	36,9 V			Máx. cadenas por canal:	6
Corriente de cortocircuito	7,58 A			Máx. cadenas por entrada DC:	2
Tensión MPP a 25 °C	30,2 V				
Corriente MPP a 25 °C	6,97 A				
Potencia MPP a 25 °C	210,494 W				
Coefficiente de temperatura de latensión en vacío	-0,350 %/C*				
Mínima temperatura de módulo	-10 °C				
Máxima temperatura de módulo	70 °C				

Additional data from the screenshot:

- Configuración por Inversor:**
  - Módulos por cadena: 11
  - Número de cadenas: 33
  - Número de String Control 25025: 2
- Datos de cable por inversor:**
  - Al String Control 25025: 2,5 mm<sup>2</sup> / 33 m
  - Al Inversor: 50 mm<sup>2</sup> / 12 m
  - Al Red AC: 35 mm<sup>2</sup> / 1 m

Figura 25 - Resumo do dimensionamento, programa de dimensionamento Solar.configurator  
Fonte: *Instrucciones de uso Software Solar.configurator v.2.5.x*, Fronius, 2010

Clicar em “*siguiente/finalizar*” para mostrar o resumo de outras instalações parciais ou para finalizar e salvar a configuração da instalação. Para a impressão do resumo, clicar na aba superior “*archivo*”, selecionar “imprimir página”. Será impressa uma imagem igual a da janela do programa apresentada na tela.

### 3.2 INGETEAM

A INGETEAM é um fabricante de inversores com sede e fábricas na Espanha, além de outras fábricas nos Estados Unidos, China e Polônia. Possui escritórios em mais nove países, inclusive no Brasil. A companhia fornece diversos produtos e componentes para geração de energia solar, eólica e hidrelétrica, além de produtos eletrônicos industriais de potência, motores, geradores, bombas e sistemas de automação de processos. Em 2010 foi a maior fabricante global de inversores para sistemas fotovoltaicos.

A gama de inversores monofásicos para instalações fotovoltaicas pequenas tem potências de 2,5 a 6 kW. Para as instalações maiores, fornece inversores trifásicos com potências de 10 kW a 0,917 MW. São produzidos modelos com e sem transformadores, com MPPT único, duplo e até triplo, alguns modelos incorporam transformador de alta frequência para isolamento galvânico entre a entrada CC e a saída CA do inversor, alguns inversores possuem funcionamento em configuração mestre-escravo para horas de baixa irradiação e aumento do rendimento. A garantia básica é de 5 anos, ampliável para até 25 anos (INGETEAM, 2013).

#### PROGRAMA INGECON SUN PLANNER

É um programa *on-line* desenvolvido para ambiente MS-Windows. O acesso ao programa é realizado através do site <<http://www.ingeteam.com>>, na aba: Ingeteam Photovoltaic, link: “Ingecon Sun Planner. Solar *photovoltaic plants sizing software*”. O programa oferece cinco idiomas para a interface, dos quais para o usuário brasileiro as opções mais amigáveis são: o inglês ou o espanhol. Não é disponibilizado um manual de utilização do programa, mas é possível encontrar na *web* o manual do usuário da versão anterior do programa de dimensionamento

“Ingecon Sun Planner” de 28/10/2009, o qual apresenta interface diferente da atual, porém as funcionalidades entre as versões são muito semelhantes, desta forma ainda poderia ser utilizado como referência na elaboração de dimensionamentos de instalações fotovoltaicas. Este manual é fornecido somente no idioma inglês.

As funcionalidades do programa de dimensionamento *on-line* Ingecon Sun Planner são relacionadas a seguir, com a interface selecionada para o idioma espanhol. O programa foi acessado em maio/2013 utilizando-se os seguintes navegadores: MS-Internet Explorer 9 e Mozilla-Firefox v.21.

O dimensionamento é realizado em três etapas: *proyecto* (projeto); *instalación* (instalação) e *informe* (relatório). Inicialmente o programa solicita o nome do usuário e senha. O novo usuário deve se cadastrar clicando em “registrar” e fornecendo os seguintes dados: nome, telefone, país e email. Após confirmar no botão “*register*”, é enviada uma senha de acesso para o email informado.

### **3.2.1 Proyecto (projeto)**

Após se logar, o usuário deve acessar o menu, aba “*proyectos*” (projetos), clicar em projeto armazenado ou, desejando iniciar um novo dimensionamento, clicar em “*+nuevo proyecto*” (+novo projeto). Deve ser informado neste passo preliminar: um título (nome) para o projeto, tamanho da planta e país. Em tamanho da planta, deve ser informado se a potência desejada para a instalação será fornecida na saída dos módulos fotovoltaicos na STC, selecionando “DC, STC” ou se na saída do inversor, selecionando “AC”. Completando a informação da instalação, informar a potência desejada em Watts e selecionar o país da instalação. Existe um campo opcional para inserir outras informações da instalação, para exibição no relatório final. A Figura 26 ilustra este passo do projeto.

### **3.2.2 Instalación (instalação)**

Esta etapa do programa apresenta três janelas distintas: inversor, módulo solar e *configuración* (configuração).

**Ingeteam** INGECON SUN Planner

Principal Proyectos **Información** Instalación Informe Soporte Preferencias [ Log out ] Idioma

## Información del proyecto

**Proyecto**

Título:

Tamaño de la planta:

País:

**Información del cliente final**

Sistema Didático

Este es un campo libre para la información del cliente final (dirección, etc). No será almacenada, sólo se mostrará en el informe final.

Figura 26 - Inclusão dos dados do projeto na etapa de informação, Ingecon Sun Planner  
 Fonte: Disponível em <[http:// www.ingeconsunplanner.com/](http://www.ingeconsunplanner.com/)> Acessado em 30/05/13

### 3.2.2.1 Inversor

Selecionar na janela do inversor a sua família e modelo. Ao selecionar o modelo são exibidas as suas características técnicas, conforme a Figura 27.

**Ingeteam** INGECON SUN Planner

Principal Proyectos Información **Instalación** Informe Soporte Preferencias [ Log out ] Idioma

## Inversor

Familia:

Modelo:

**DC**

Tensión mínima	125	Vdc
Tensión mínima Vmpp	195	Vdc
Tensión máxima Vmpp	450	Vdc
Tensión máxima	550	Vdc
Corriente máxima Idc	16	A

**AC**

Potencia nominal AC	3	kW
Tensión nominal	230	V
Corriente máxima Iac	13,5	A
Frecuencia	50 60	Hz
THD	< 3	%
Coseno Phi	1	

**General**

Número de MPPT	1	
Máxima eficiencia	96,6	%
Euroeficiencia	95,1	%
Temperatura de trabajo mínima	-20	°C
Temperatura de trabajo máxima	70	°C
Grado de protección	IP65	
Dimensiones	360x180x470	mm
Peso	18,3	kg

Figura 27 - Seleção do inversor, programa *on-line* Ingecon Sun Planner  
 Fonte: Disponível em <[http:// www.ingeconsunplanner.com/](http://www.ingeconsunplanner.com/)> Acessado em 30/05/13

### 3.2.2.2 Módulo solar

Selecionar na janela do módulo solar o fabricante e o modelo conforme a disponibilidade ou facilidade de aquisição local, sendo possível editar as características técnicas existentes na base de dados do módulo, no ícone à direita da seleção. Existe a opção “BDD – Base de dados privada”, para inserir dados de um modelo não existente na base de dados. A Figura 28 ilustra este passo:

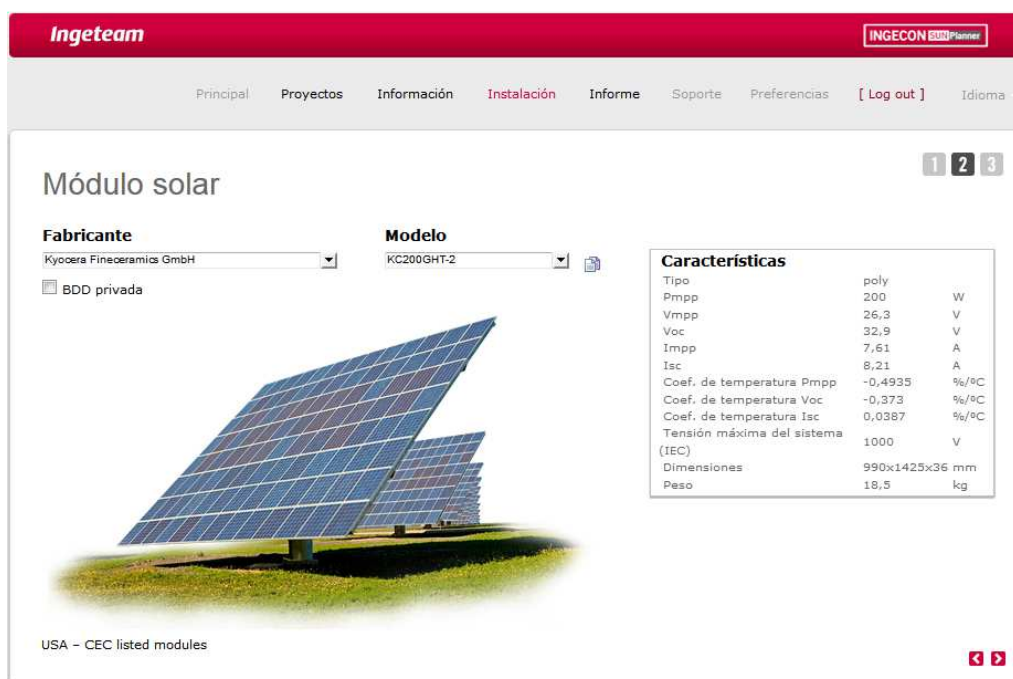


Figura 28 - Seleção do módulo fotovoltaico, programa *on-line* Ingecon Sun Planner  
 Fonte: Disponível em <<http://www.ingeconsunplanner.com/>> Acessado em 30/05/13

### 3.2.2.3 Configuração

A janela “valores de *configuración*” apresenta a melhor configuração calculada, informando o número de módulos FV, *strings*, fator de dimensionamento, potência STC - *Standard Test Conditions* dos módulos fotovoltaicos, faixa de temperatura e resultados. Os resultados são apresentados com um ícone verde de *check* quando estão atendidas as tensões, corrente, modelo dos módulos e do inversor. O usuário tem a possibilidade de variar a quantidade de módulos e *strings* para adequar o arranjo ao inversor, para condições extremas de temperatura. Estes itens podem ser alterados nos botões + ou -, o que causa a mudança imediata dos resultados e das características técnicas, variando a cor do ícone, comentários e

advertências. A Figura 29 apresenta este passo.

**Ingeteam** INGECON Sun Planner

Principal Proyectos Información **Instalación** Informe Soporte Preferencias [ Log out ] Idioma

### Valores de configuración

Módulos por String: 14

Strings: 1

Módulos: 14

Factor de dimensionamiento: 0,93

Potencia STC: 2,8 kWp

Rango de temperatura célula: 70° - -10°

Opciones avanzadas  Opciones por defecto

### Resultados

**Tensión (V)**

Vmpp 70°:	306,4	✓	Tensiones de trabajo correctas para el inversor
Vmpp STC:	368,2	✓	Tensiones de trabajo correctas para el inversor
Voc -10°:	520,7	✓	Tensiones de trabajo correctas para el inversor

**Corriente (A)**

Idc Max: 7,6 ✓

Corriente máxima del campo fotovoltaico inferior a la máxima del inversor  
Corriente Isc del campo fotovoltaico a 25°C de célula y 1000 W/m2 dentro del rango del inversor

Potencia STC:	2,80 (kWp)
Potencia AC:	3,00 (kW)
Nº de sistemas:	1
Inversor seleccionado:	Ingecon Sun Lite Ingecon Sun 3 TL
Módulo seleccionado:	Kyocera Fineceramics GmbH KC200GHT-2

Figura 29 - Valores da configuração e resultados, programa *on-line* Ingecon Sun Planner  
Fonte: Disponível em <[http:// www.ingeconsunplanner.com/](http://www.ingeconsunplanner.com/)> Acessado em 30/05/13

### 3.2.3 Relatório

A última etapa do programa é a geração de um relatório completo da instalação, na aba “*report (informe)*”, conforme a Figura 30. O relatório é apresentado na tela, com a facilidade de gerar um arquivo em extensão pdf no ícone “*descargar pdf*”.

[Descargar pdf](#)    [Configuración del proyecto](#)

**INGECON SUN Planner**

Fecha: 2013/05/30

<b>CLIENTE</b>	<b>PROYECTO</b>
Sistema Didático	Título: Modelo de Teste
	Región/Pais: Brasil
	Tamaño planta: 5000 W AC

---

**SISTEMA**

<b>DC</b>	<b>FACTOR DE TAMAÑO</b>
Total de módulos solares: 14	STC: 0,93
Potencia total: 2,8 kWp	
Nº módulos solares en serie: 14	Tensiones de trabajo correctas para el Inversor
V <sub>mpp</sub> a 70°C: 306,4 V	Tensiones de trabajo correctas para el Inversor
V <sub>mpp</sub> *: 368,2 V	Tensiones de trabajo correctas para el Inversor
V <sub>oc</sub> at -10°C: 520,7 V	Corriente máxima del campo fotovoltaico inferior a la máxima del inversor
Nº Strings: 1	Corriente Isc del campo fotovoltaico a 25°C de célula y 1000 W/m <sup>2</sup> dentro del rango del Inversor
I <sub>sc</sub> *: 7,6 A	
<b>AC</b>	<b>El sistema está correctamente dimensionado</b>
Potencia nominal: 3 kW	
Max. potencia: 3 kW	

---

**INSTALACIÓN**

Nº inversores: 1

<b>DC</b>	<b>AC</b>
Nº módulos solares: 14	Potencia nominal: 3 kW
Potencia: 2,8 kW	Max. potencia: 3 kW

---

**INVERSOR** Ingecon Sun Lite Ingecon Sun 3 TL

<b>DC</b>	<b>GENERAL</b>	<b>AC</b>
V <sub>mpp</sub> range: 195 - 450 V	Max. eficiencia: 98,6 %	Potencia nominal: 3 kW
V range: 125 - 550 V	Eficiencia de Europa: 95,1 %	Max. potencia: 3 kW
I <sub>sc</sub> max: 16 A	Dimensiones: 380x180x470 mm	Tensión nominal: 230 V
MPPT: 1	Peso: 18,3 Kg	Rango de frecuencia: 50 - 60 Hz
		THD: 3 %

---

**MÓDULO SOLAR**

Fabricante: Kyocera Fineceramics GmbH	V <sub>sys</sub> max: 1000 V
Modelo: KC200GHT-2	Dimensiones: 38x1850x1425 mm
Potencia nominal: 200 W	Peso: 18,5 Kg

**Ingeteam** Avda. Ciudad de la Innovación, 13 - 31621 SARRIGUREN, ESPAÑA - Tel.: +34 948 28 80 00 - solar.energy@ingeteam.com - www.ingeteam.com

Ingeteam Power Technology S.A. is not responsible for any direct and indirect damage resulting from the use of this program.

Figura 30 - Exemplo de relatório final do programa *on-line* Ingecon Sun Planner  
 Fonte: Disponível em <<http://www.ingeconsunplanner.com/>> Acessado em 30/05/13

### 3.3 POWER-ONE

A POWER-ONE é um fabricante de inversores que possui sede e fábricas nos Estados Unidos, além de fábricas na China, Itália (unidade na qual são produzidos os seus inversores), Suíça e Eslováquia, sendo o segundo maior fabricante mundial de inversores. Além das energias renováveis, atua também em comunicação de dados e voz, controles inteligentes, gerenciamento digital de potência, servidores e armazenamento de dados, instrumentação industrial e instrumentos para testes automáticos de equipamentos.

Seu portfólio inicia-se com micro inversores conectados à rede de potências de 250 e 300 W, tecnologia MPPT, para uso em um módulo FV singelo, aproveitando-se a máxima potência individual de cada módulo. Os inversores monofásicos conectados à rede são produzidos em potências de 2 a 6 kW. Os inversores trifásicos tem potências de 10 a 25 kW. Alguns inversores possuem dois pontos independentes de MPPT. Os inversores centrais tem potência desde 50 kW até 0,4 MW, com até 6 pontos independentes de MPPT. A garantia padrão é de 5 anos, e a garantia estendida é de 10, 15 e 20 anos (POWER-ONE, 2013).

#### PROGRAMA AURORA *STRINGSIZER*

A POWER-ONE disponibiliza o programa on-line AURORA *STRINGSIZER* para sistema MS-Windows no site da empresa <<http://www.power-one.com>>. O acesso ao programa é livre, permitindo somente a utilização dos seus modelos de inversores. Possui facilidade para acrescentar novos modelos de módulos fotovoltaicos. Para acessar o programa, o caminho é: *Renewable Energy* (Energias Renováveis), no item *Quick Links* selecionar abaixo de “*Configure a Product*” (*Configuración de un produto*) na opção: “*On-line with stringsizer.power-one.com*”. O programa foi acessado utilizando-se os seguintes navegadores: MS-Internet Explorer 9 e Mozilla-Firefox v.21.

Inicialmente deve ser selecionado um dos dois modos do programa: *Standard version* ou *User friendly version*. A diferença entre os modos é que no *User friendly* (amigável ao usuário) todos os resultados do nº de módulos por *string* (etapa 5) são apresentados em células coloridas, já no *Standard* os resultados não tem a opção das células coloridas. O programa dispõe de ferramenta de gravação



do projeto e de carregamento de um projeto salvo anteriormente, útil para usuários que trabalham com modelos pré-definidos de módulos, agilizando as modificações. A gravação salva todos os dados de localização, temperatura, método de montagem, modelo do módulo inclusive dados de entrada manual, modelo do inversor e as configurações da instalação.

O programa apresenta-se em uma única interface no formato de planilha, com cinco etapas principais:

- localização;
- temperatura;
- seleção do módulo fotovoltaico;
- seleção do inversor;
- resultados.

Todas as etapas possuem um item de ajuda explicando no idioma selecionado a função da etapa, os detalhes da entrada dos dados e/ou os resultados. A Figura 31 a seguir apresenta a interface principal do programa.

### **3.3.1 Location (localização)**

Nesta etapa podem ser selecionados o idioma da interface e a localização da instalação. São três idiomas disponíveis: italiano, inglês e alemão. O programa pode identificar o país do usuário e automaticamente carrega informações do continente, país e capital, porém o usuário pode selecionar outros continentes, países e cidades da base de dados. A seleção da localização carrega os seus valores típicos de temperatura disponíveis na base de dados.

### **3.3.2 Temperature (temperatura)**

Primeiramente deve ser selecionada a unidade de temperatura: Celsius (°C) ou Fahrenheit (°F). Após deve ser selecionado o modo de instalação dos módulos: sobre o teto, seguidor, inclinado com montagem no solo. O próximo item é selecionar as temperaturas da localização da instalação. O usuário pode digitar valores diferentes do valores *default*, que assumem cor vermelha, porém é necessário clicar no botão “salvar” para confirmar os novos valores introduzidos. O

o sistema irá calcular e apresentar os valores de temperatura das células que vão ser utilizados no dimensionamento, conforme o modo selecionado de instalação dos módulos.

**Aurora Stringsizer™**

Save the project      View: User friendly version      Load Project

---

**1 - LOCATION** Help ?

Language: English    Continent: South America    Country: Brazil    Location: Brasília

---

**2 - TEMPERATURE** Help ?

Temperature unit selection: C

Ambient temperature selection: Minimum -15°C (5°F), Average 25°C (77°F), Maximum 30°C (86°F)

Mounting method selection: Flush on roof

Cell temperature values used for calculation: -15°C (5°F), 60°C (140°F), 65°C (149°F)

ΔT between ambient e cell temperature: +35°C

---

**3 - PV PANEL SELECTION** Help ?

Manufacturer: 3Busbar    Model: SE-M230 6S60

Can not find the panel you're looking for? Tell us about the missing panel!


PV PANEL DATA	
Manufacturer: 3Busbar <input type="button" value="Edit"/>	
Model: SE-M230 6S60	
Nominal Power [W]: 240	Grounding: N/D
Open Circuit Voltage - Voc [V]: 37.7	Short Circuit Current - Isc [A]: 8.51
Max Power Voltage - Vmp [V]: 30.3	Max Power Current - Imp [A]: 7.93
Temperature coeff. Voc [V/°C]: -0.128	Temperature coeff. Isc [mA/°C]: 2.553
Temperature coeff. Voc [%/°C]: -0.340	Temperature coeff. Isc [%/°C]: 0.030
Max.Sys.Volt [V]: 1000	Temperature coeff. Pmax [%/°K]:

---

**4 - INVERTER SELECTION** Help ?

Model: PVI-5000-OUTD    Grounding: Unground

INVERTER DATA	
INPUT	OUTPUT
Min. MPPT Voltage [V]: 0,7*Vstart	Nominal Power [W]: 4600
Max MPPT Voltage [V]: 530	Max Power [W]: 5000
Vstart (default) [V]: 200	Nominal Voltage [V]: 230
Vstart (range) [V]: 120 - 350	AC phases number: 1
MPPT Number: 2	Nominal frequency [Hz]: 50




---

**5 - RESULTS - All results shown are allowed configurations, please select the box with desired string configuration** Help ?

**PARALLEL MPPT**  
Number of Independent MPPT: 1

Single MPPT	Strings in parallel	PV Panels/string													
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
1	1							2400 (10)	2640 (11)	2880 (12)	3120 (13)	3360 (14)			
	2		2400 (10)	2880 (12)	3360 (14)	3840 (16)	4320 (18)	4800 (20)	5280 (22)	5760 (24)	6240 (26)	6720 (28)			
	3	2880 (12)	3600 (15)	4320 (18)	5040 (21)	5760 (24)	6480 (27)	7200 (30)							
	4	3840 (16)	4800 (20)	5760 (24)	6720 (28)										
Notes															
Number of panels:							DC Installed Power:								
Inverter utilization ratio:															

---

**INDEPENDENT MPPT**  
Number of Independent MPPT: 2

MPPT1	Strings in parallel	PV Panels/string													
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
1	1	960 (4)	1200 (5)	1440 (6)	1680 (7)	1920 (8)	2160 (9)	2400 (10)	2640 (11)	2880 (12)	3120 (13)	3360 (14)			
	2	1920 (8)	2400 (10)	2880 (12)	3360 (14)	3840 (16)	4320 (18)	4800 (20)							
Notes															
MPPT2	Strings in parallel	PV Panels/string													
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
1	1	960 (4)	1200 (5)	1440 (6)	1680 (7)	1920 (8)	2160 (9)	2400 (10)	2640 (11)	2880 (12)	3120 (13)	3360 (14)			
	2	1920 (8)	2400 (10)	2880 (12)	3360 (14)	3840 (16)	4320 (18)	4800 (20)							
Notes															
Number of panels: 24							DC Installed Power: 5760								
Inverter utilization ratio: 100.2% <small>Possibility of output power limiting</small>							<input type="button" value="Do you want to generate and print a Report?"/>								

Figura 31 - Exemplo da interface do programa *on-line* Aurora Stringsizer, Power-one  
Fonte: Disponível em: <<http://stringtool.power-one.com>> Acessado em 27/05/13

### 3.3.3 PV panel selection (seleção do módulo FV)

Nesta etapa o usuário pode selecionar um fabricante e modelo de módulo FV da base de dados. Se o módulo desejado não estiver disponível, é possível editar suas especificações no botão “*Edit*” e completar a configuração. O programa permite reportar a falta de determinado modelo pelo botão “*Report*”, solicitando a atualização da base de dados ao programador. Existem modelos de módulos FV que necessitam aterramento do terminal positivo ou negativo. Neste caso aparece uma mensagem (adaptada): “Este módulo só pode ser usado com um inversor isolado”, sendo necessário selecionar o método de aterramento do pólo entre: negativo ou positivo.

### 3.3.4 Inverter selection (seleção do inversor)

Nesta etapa o modelo do inversor deve ser selecionado. Também deve ser selecionado, se exigido, o método de aterramento do fabricante do módulo FV, em consonância com o passo 3, entre as seguintes opções: sem necessidade de aterramento, terra do pólo negativo e terra do pólo positivo. São poucos os modelos de inversores compatíveis com pólos aterrados. Para utilização de outros modelos de inversores em arranjos com módulos com pólos aterrados, há necessidade de consulta ao suporte técnico para verificar a compatibilidade. A frequência do inversor é informada como 50 Hz, porém os manuais técnicos da maioria dos inversores indicam que podem ser programados em 50 ou 60 Hz.

### 3.3.5 Results (resultados)

São apresentadas todas as configurações possíveis, devendo ser selecionada a configuração desejada. O usuário pode selecionar o modo de operação do inversor conforme o tipo de aterramento necessário ao módulo FV. Para os inversores de *string*, deve-se selecionar: entradas em paralelo (um ponto MPPT) ou entradas independentes (MPPT dupla). Para os inversores centrais, devem-se selecionar as seguintes opções: mestre/escravo (um ponto MPPT), ou multi-mestre/escravo (MPPT dupla ou tripla independente), ou *multi-master* (2, 3, 4, 5 e 6 e acima MPPTs independentes). Cada configuração apresenta a potência CC

instalada em Watts (STC) e entre parêntesis o número de módulos fotovoltaicos. Após a seleção de uma opção, é possível a geração de um relatório detalhado em formato pdf. No caso da utilização da versão *User friendly*, os resultados das configurações são apresentados em células coloridas por uma das seguintes três cores: laranja, amarelo e verde. As cores tem o seguinte significado:

a) Cor laranja: a configuração não está otimizada, devido a uma ou mais condições: potência instalada está abaixo de 70% da potência CC máxima do inversor (MPPT única), ou no caso de inversor com várias entradas MPPT independentes, pelo menos um dos canais está abaixo de 35% da potência CC máxima do inversor; ou a potência instalada é maior que a potência CC máxima do inversor (MPPT única), ou no caso de inversor com várias entradas MPPT independentes, pelo menos um dos canais está acima da potência máxima do inversor; e/ou a tensão de ativação necessita ser ajustada.

b) Cor amarela: a configuração é permitida, mas não está otimizada, devido a tensão típica das *strings* em condições de MPP não se enquadrarem na faixa de máxima eficiência do inversor, ou seja, a tensão média das *strings* está fora da faixa de tensão nominal do inversor.

c) Cor verde: a configuração está otimizada, a tensão das *strings* em condições MPP está no intervalo em que o inversor opera com máxima eficiência, ou seja, a tensão média das *strings* está dentro da faixa de tensão nominal do inversor.

Após selecionar uma das configurações do nº de módulos FV por *string*, os resultados são apresentados nas últimas linhas do programa, tais como: o número de módulos FV, razão da utilização da potência do inversor (%) e potência DC instalada (W). Pode ser gerado e impresso um relatório da configuração final, selecionando o botão “do you want to generate and print a report?”. O relatório da configuração é gerado em pdf, com informações da localização, temperaturas (ambiente e das células), tipo de montagem, modelo do inversor e suas características técnicas, modelo do módulos FV e suas características técnicas, configurações da instalação por MPPT. A Figura 32 apresenta o relatório da configuração final.



Aurora Stringsizer - Configuration Report						
<b>Location</b>		<b>Temperature (°C) Amb Cell</b>		<b>Mounting method</b>		
CONTINENT South America		Minimum -15°C -15°C		Flush on roof		
COUNTRY Brazil		Average 25°C 60°C				
LOCATION Brasilia		Maximum 30°C 65°C				
<b>Inverter Model</b> PVI-5000-OUTD						
<b>Rated AC Power [kW] / Rated AC Voltage [V]</b> 4600 / 230						
<b>Mppt Configuration</b> INDEPENDENT MPPT (Num. MPPT ind.: 2)						
<b>Total number of PV modules</b> 24						
<b>Installed DC Power (STC) [kW]</b> 5760						
<b>Notes</b> Possibility of output power limiting						
<b>PV Panel (manufacturer / model)</b> 3Busbar / SE-M230 6560						
<b>Technology</b>						
<b>STC Rated Power [W]</b> 240						
<b>Open Circuit Voltage - Voc [V]</b> 37.7						
<b>Short Circuit Current - Isc [A]</b> 8.51						
<b>Maximum Power Voltage - Vmp [V]</b> 30.3						
<b>Maximum Power Current - Imp [A]</b> 7.93						
<b>Temperature Coefficient - Voc [V/°C]</b> -0.128						
<b>Temperature Coefficient - Isc [mA/°C]</b> 2.553						
	<b>MPPT1</b>	<b>MPPT2</b>	<b>MPPT3</b>	<b>MPPT4</b>	<b>MPPT5</b>	<b>MPPT6</b>
<b>PV Panels/String</b>	12	12	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Number of Parallel Strings</b>	1	1	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Total number of PV modules</b>	12	12	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Notes</b>						
<b>Installed DC Power (STC) [kW]</b>	2.88	2.88	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Maximum Power/MPPT [kW]</b>	4	4	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Load Factor/MPPT [%]</b>	72%	72%	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>PV Panel Max System Voltage [Vdc]</b>	1000	1000	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Inverter Maximum Input Voltage [Vdc]</b>	600	600	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>String Open Circuit Voltage @-15°C [Vdc]</b>	513.8	513.8	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>String Open Circuit Voltage @65°C [Vdc]</b>	391	391	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Inverter Activation Voltage (default) [Vdc]</b>	200	200	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Inverter Recommended Activation Voltage [Vdc]</b>	Default (200)	Default (200)	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>String Max Power Voltage @-15°C [Vdc]</b>	413	413	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>String Max Power Voltage @60°C [Vdc]</b>	320.3	320.3	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>String Max Power Voltage @65°C [Vdc]</b>	314.2	314.2	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Inverter MPP Operating Range* [Vdc]</b>	140 - 530	140 - 530	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>PV Array Max Short Circuit Curr. @65°C [Adc]</b>	8.6	8.6	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Inverter Max Short Circuit Current/MPPT [Adc]</b>	22	22	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>PV Array MPP Current @65°C [Adc]</b>	8	8	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Inverter Max MPPT Input Current [Adc]</b>	18	18	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Note Explain</b>	* Range for MPPT operation considering the voltage default activation					

Figura 32 - Exemplo de relatório final do programa *on-line* Aurora Stringsizer, Power-one  
Fonte: Disponível em: <http://stringtool.power-one.com> Acessado em 27/05/13

### 3.4 SMA

A SMA SOLAR TECHNOLOGY AG tem sede na Alemanha, é um fabricante líder no mercado mundial em desenvolvimento, produção e vendas de inversores e sistemas de gerenciamento para sistemas fotovoltaicos. Possui representações em 21 países com mercado de energia fotovoltaica estabelecido.

A SMA produz inversores conectados à rede para instalações residenciais com potências de 1,1 a 5 kW, inversores para pequenas instalações comerciais com

potências de 5 a 66 kW e para as grandes instalações comerciais nas potências de 100 a 1,12 MW. A garantia padrão é de cinco anos, podendo ser estendida para até 25 anos.

A SMA disponibiliza dois programas de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede: o SUNNY DESIGN WEB para acesso *on-line* e o SUNNY DESIGN para instalação em um computador pessoal. Os programas são gratuitos, porém possibilitam o dimensionamento apenas com seus modelos de inversores.

SUNNY DESIGN WEB é um programa de dimensionamento *on-line* que pode ser aberto por qualquer navegador, inclusive em iPad e *tablets* Android, solicitando apenas um registro gratuito para acesso às suas funcionalidades, com o desempenho similar ao programa instalado em um computador pessoal.

SUNNY DESIGN faz estimativas dos ganhos econômicos da instalação, os efeitos dos mais importantes parâmetros sobre a produção de energia, a taxa potencial de consumo próprio, os custos de investimentos, simulação da produção anual com base nos dados meteorológicos da localidade e está disponível no *site* da SMA: <<http://www.sma.de/en/service/downloads>>.

Os programas são disponibilizados em português (europeu). O programa Sunny Design possui manual de utilização em português, já o programa Sunny Design WEB não dispõe de tal manual, mas suas funcionalidades são semelhantes ao programa Sunny Design.

Devido à disponibilidade de manual de utilização completo, em português, com todas as funcionalidades do programa bem detalhadas em 97 páginas, este estudo se limitará a apresentar somente o programa SUNNY DESIGN.

Requisitos de sistema do Sunny Design:

Sistemas operacionais MS-Windows 7, Vista, XP, 32 bits e 64 bits. NET Framework 4.0, Pentium IV 1 GHz, 1 GB RAM, 100 MB de disco rígido. No caso do NET Framework 4.0 não estar presente no computador, ele será instalado automaticamente pelo instalador.

Instalação do programa:

- 1- executar o programa de instalação "SunnyDesignSetup.exe";
- 2- confirmar a pergunta de segurança;

- 3- selecionar o idioma da interface;
- 4- clicar em OK;
- 5- seguir as instruções do assistente de instalação e finalizar.

#### FUNCIONALIDADES:

O programa Sunny Design é desenvolvido para realizar o dimensionamento de instalações fotovoltaicas conectadas à rede, utilizando todos os inversores da SMA, com as seguintes características:

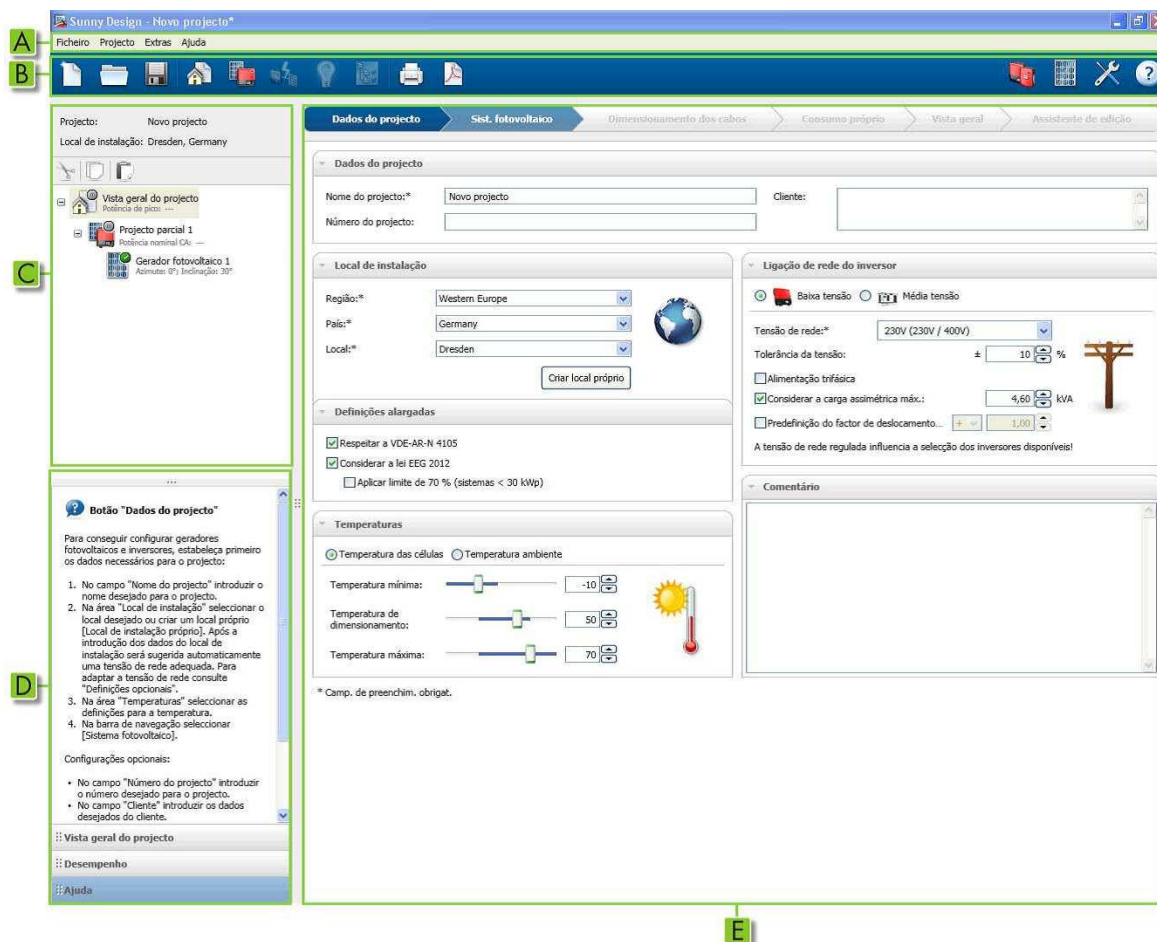
- sistemas fotovoltaicos simples, com os módulos fotovoltaicos no mesmo alinhamento;
- sistemas fotovoltaicos complexos, com módulos fotovoltaicos alinhados de forma diferente;
- sistemas fotovoltaicos trifásicos, com injeção desequilibrada na rede definida pelo usuário;
- sistemas fotovoltaicos com definições específicas para o país, relativas aos tipos de inversores certificados ou a tensão de rede.

#### DEMAIS FUNÇÕES DO SUNNY DESIGN:

- criação de modelo de projeto com valores padronizados;
- simulação do consumo próprio de energia fotovoltaica e apresentação em gráficos;
- criação de novos locais de instalação, com o auxílio de dados meteorológicos da base de dados do Sunny Design ou dados importados;
- inclusão de novos módulos fotovoltaicos;
- verificação automática dos dados operacionais do sistema fotovoltaico dimensionado;
- dimensionamento dos cabos CC e CA;
- impressão de relatórios, salvar como documento pdf;
- atualizações *on-line* das bases de dados do Sunny Design e do manual de utilização do Sunny Design.

## VISTA GERAL DO PROGRAMA

O programa é organizado em barras e áreas (janelas), as quais estão destacadas e identificadas por letras, como mostrado na Figura 33.



**Figura 33 - Interface principal do programa Sunny Design**  
**Fonte: Manual de utilização do SUNNY DESIGN v.2.20, SMA, 2012**

A- barra de menus das funções básicas do programa:

- *ficheiro* (arquivo);
- projeto;
- extras;
- ajuda.

B- barra de ferramentas que possibilita o acesso rápido por meio de ícones às funções principais do programa.



C- área de projeto, na qual a instalação fotovoltaica é apresentada em forma de árvore. Possui as seguintes sub-áreas:

- informações do projeto;
- barra de ferramentas: cortar, copiar ou adicionar elementos na árvore do projeto;
- árvore do projeto;

D- área de informações, onde são apresentadas:

- vista geral do projeto e resultados do dimensionamento de todo o sistema;
- desempenho de cada um dos inversores, com gráficos de eficiência;
- acesso à ajuda ao contexto para a área selecionada na área de trabalho ou ver as configurações efetuadas.

E- área de trabalho com as etapas para configuração do sistema:

- possui uma barra de navegação com as etapas da configuração passo a passo. Para cada etapa selecionada, a área de trabalho é carregada com a janela do dimensionamento correspondente.

## CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA

Para o dimensionamento da instalação fotovoltaica, as etapas da configuração passo a passo são mostradas na Figura 34.

### 3.4.1 Janela dos dados do projeto

Nesta etapa devem ser incluídos todos os dados do local da instalação:

- A- introduzir dados essenciais do projeto: nome, número, cliente;
- B- selecionar o local de instalação: região, país, local;
- C- as definições avançadas para os inversores não se aplica ao Brasil;
- D- introduzir as temperaturas das células e do ambiente: mínimas, dimensionamento, máximas;
- E- introduzir dados da ligação do inversor à rede: tensão de rede, tolerância da tensão, alimentação trifásica, fator de potência;

F- introduzir comentários.

The screenshot shows the 'Assistente de edição' (Editing Assistant) window in Sunny Design. The tabs at the top are: 'Dados do projecto', 'Sist. fotovoltaico', 'Dimensionamento dos cabos', 'Consumo próprio', 'Vista geral', and 'Assistente de edição'. The main content area is divided into several sections:

- Dados do projecto:** Fields for 'Nome do projecto:\*' (containing 'Novo projecto') and 'Número do projecto:'. A 'Cliente:' dropdown is also present.
- Local de instalação:** Dropdowns for 'Região:\*' (Western Europe), 'País:\*' (Germany), and 'Local:\*' (Freiburg). A 'Criar local próprio' button is below.
- Definições alargadas:** Checkboxes for 'Respeitar a VDE-AR-N 4105', 'Considerar a lei EEG 2012', and 'Aplicar limite de 70 % (sistemas < 30 kWp)'. The first two are checked.
- Temperaturas:** Radio buttons for 'Temperatura das células' (selected) and 'Temperatura ambiente'. Sliders for 'Temperatura mínima:' (-10), 'Temperatura de dimensionamento:' (50), and 'Temperatura máxima:' (70).
- Ligação de rede do inversor:** Radio buttons for 'Baixa tensão' (selected) and 'Média tensão'. 'Tensão de rede:\*' is set to '230V (230V / 400V)'. 'Tolerância da tensão:' is set to '± 10 %'. Checkboxes for 'Alimentação trifásica', 'Considerar a carga assimétrica máx.: 4,60 kVA', and 'Predefinição do factor de deslocament... 0,95' are checked. A utility pole icon is shown.
- Comentário:** A large text area for entering comments.

\* Camp. de preenchim. obrigat.

**Figura 34 - Configuração do sistema, prog. Sunny Design**  
**Fonte: Manual de utilização do SUNNY DESIGN v.2.20, SMA, 2012**

### 3.4.2 Janela do sistema fotovoltaico

A janela do sistema fotovoltaico é exibida na Figura 35.

É necessário configurar ao menos um sistema de gerador FV antes dos inversores, para um projeto parcial, conforme os passos:

Passo A- Selecionar a aba “gerador FV 1”; introduzir um nome para o gerador FV; selecionar o fabricante e o módulo FV; em “prédefin.” selecionar a quantidade de módulos FV ou a potência de pico da instalação. Podem ser alterados o alinhamento e o tipo de montagem no botão “alterar”, abrindo-se a janela “Alinhamento e tipo de montagem”, conforme a Figura 36.

Dados do projecto    **Sist. fotovoltaico**    Dimensionamento dos cabos    Consumo próprio    Vista geral    Assistente de edição

**Gerador fotovoltaico 1** x    Gerador fotovoltaico 2 x    +    1 x STP 8000TL-10    Strings    + Adicionar inversor

Nome: Gerador fotovoltaico 1  
 Fabricante: Advent Solar  
 Módulo fotovolta.: Advent 175  
 Temperatura das células: -10 ... 70 °C  
 Alinhamento: Azimute: 0°; Inclinação: 30°  
 Tipo de montagem: Telh...    Alterar    Sugestões de dimensionamento ...

Predefin.:  
 Número de módulos FV: 150  
 Potência de pico: 26,25 kWp

Inversor: STP 8000TL-10  
 Número de inversores: 1  
 Potência máx. CC (cos φ = 1): 8,20 kW  
 Potência CA máx.: 8,00 kVA  
 Potência activa máx. CA (cos φ = -0,9): 7,20 kW  
 Ligação CA: trifásica  
 Eficiência máx.: 98,1 %  
 Tensão de rede: 230V (230V / 400V)  
 Factor de deslocamento cos φ: 0,90

**Vista geral de inversores**

	Gerador fotovoltaico 1 150 / 150	Gerador fotovoltaico 2 85 / 85	Potência de pico	Coefficiente da potência no...	Factor de utilização da ener...
1 x STP 17000TL-10	5 x 15 (A)	2 x 17 (B)	19,08 kWp	82 %	99,7 %
1 x STP 12000TL-10	4 x 17 (A) 1 x 7 (B)		13,13 kWp	84 %	99,8 %
1 x STP 8000TL-10		2 x 17 (A) 1 x 17 (B)	8,93 kWp	83 %	99,7 %

**Sistema fotovoltaico / Inversor compatíveis**

Configuração	Entrada A		Entrada B	
Inversor:	STP 8000TL-10	Gerador fotovoltaico:	Gerador fotovoltaico...	Gerador fotovoltaico...
Entradas independentes:	2	Quantidade de módulos FV (entrada):	34	17
Potência máx. CC (cos φ = -0,9):	7,38 kW	Potência de pico (entrada):	5,95 kWp	2,98 kWp
Potência CC mín.: (tensão de rede 230 V)	150 V	Tensão FV típica:	506 V ✓	506 V ✓
		Tensão FV mín.:	456 V ✓	456 V ✓
Tensão CC máx. (FV):	860 V	Tensão FV máx.:	820 V ✓	820 V ✓
Corrente máx. de CC (A/B):	22/11 A	Corrente máx. do gerador FV:	10,4 A ✓	5,2 A ✓
Corrente máx. de curto-circuito (A/B):	33/12,5 A	Corrente máx. de curto-circuito FV:	11,5 A ✓	5,8 A ✓

Figura 35 - Etapa do sistema fotovoltaico, prog. Sunny Design  
 Fonte: Manual de utilização do SUNNY DESIGN v.2.20, SMA, 2012

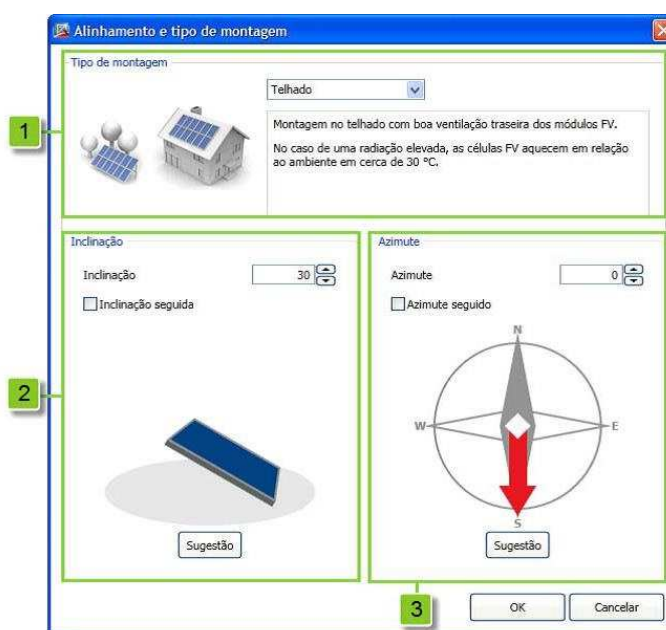


Figura 36 - Janela configuração do alinhamento e tipo de montagem, prog. Sunny Design  
 Fonte: Manual de utilização do SUNNY DESIGN v.2.20, SMA, 2012

Para alteração do tipo de montagem, inclinação e azimute:

1-selecionar o tipo de montagem; 2-selecionar a inclinação; 3-selecionar o azimute.

Continuando o item 3.4.2 (janela do sistema fotovoltaico) e completando o passo A, selecionar o inversor para o projeto parcial, conforme uma das seguintes opções:

- solicitar “sugestões de dimensionamento” ao lado de “tipo de montagem”;
- selecionar o inversor da lista, verificando em “vista geral de inversores” a sugestão automática;
- solicitar dimensionamento automático do projeto parcial, selecionando “dimensionar automaticamente” na área do “inversor”.

A janela “sugestões de dimensionamento” possui duas abas: projeto parcial e gerador fotovoltaico, conforme apresentado na Figura 37.

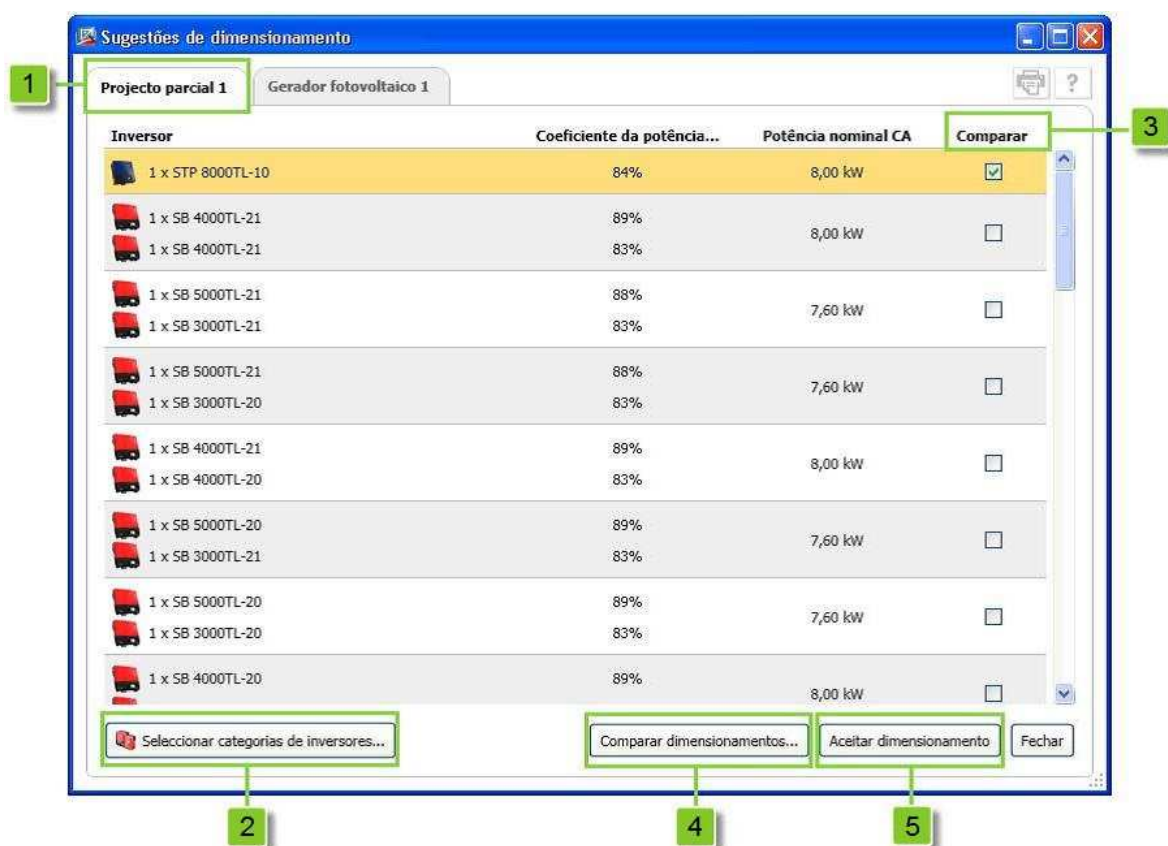


Figura 37 - Janela sugestões de dimensionamento, aba projeto parcial, prog. Sunny Design  
Fonte: Manual de utilização do SUNNY DESIGN v.2.20, SMA, 2012

Onde:



apresentadas por código de cores: verde – todos os módulos FV estão ligados ao inversor; preto – nem todos os módulos FV estão ligados ao inversor, mas para manter esta combinação podem ser alterados, conforme as instruções do manual do utilizador; vermelho – são necessários mais módulos FV do que os definidos na instalação, mas para manter esta combinação podem ser alterados, conforme as instruções do manual do utilizador;

- 3- dispostos em uma matriz, com os inversores alocados por linhas e as quantidades de módulos FV e potência de pico alocados em colunas, as possíveis combinações/rendimentos são representadas por código de cores: verde – melhor combinação recomendável; verde-claro – rendimento inferior; cinzento – rendimento máximo possível, porém está prevista uma ligação à terra para os módulos FV e/ou o limite de desequilíbrio de carga não é respeitado;
- 4- botões para visualizar sugestões de outras quantidades de módulos FV;
- 5- desfazer a seleção do inversor. 6- Adicionar o inversor selecionado à instalação;
- 6- seleccionar a melhor combinação (sistema FV + inversor), conforme análise do utilizador.

Passo B – Em “vista geral dos inversores” será exibida a combinação seleccionada no passo A, conforme a Figura 39:

	Gerador fotovoltaico... 86 / 86	Gerador fotovoltaico... 90 / 90	Gerador fotovoltaico... 78 / 78	Potência de pico	Coefficiente da potência...	Factor de utilização da...
✓ 1 x STP 17000TL-10	2 x 15 (B)		6 x 13 (A)	18,90 kWp	83 %	99,8 %
✓ 1 x STP 12000TL-10	2 x 13 (B)	3 x 15 (A)		12,43 kWp	89 %	99,9 %
✓ 1 x STP 12000TL-10	2 x 15 (B)	3 x 15 (A)		13,13 kWp	84 %	99,8 %

**Figura 39 - Caixa vista geral dos inversores, etapa do sistema fotovoltaico, prog. Sunny Design**  
**Fonte: Manual de utilização do SUNNY DESIGN v.2.20, SMA, 2012**

Passo C – Em “sistema FV/inversor compatível” as características técnicas da opção seleccionada é exibida para a avaliação do dimensionamento, conforme a Figura 40.



Configuração		Entrada A	Entrada B
Inversor:	SB 5000TL-21 (VDE-AR-...	Gerador fotovoltaico:	Gerador fotovoltaico...
Entradas independentes:	2	Quantidade de módulos FV (entrada):	24
Potência máx. CC ( $\cos \varphi = 1$ ):	4,83 kW	Potência de pico (entrada):	4,20 kWp
Potência CC mín.:	125 V	Tensão FV típica:	357 V ✓
(tensão de rede 230 V)		Tensão FV mín.:	238 V ✓
Tensão CC máx. (Inversor):	750 V	Tensão FV máx.:	215 V ✓
Corrente máx. de CC (A/B):	15/15 A	Tensão FV máx.:	579 V ✓
		Corrente máx. do gerador FV:	386 V ✓
			10,4 A ✓
			5,2 A ✓

Figura 40 - Caixa sistema FV–inversor compatíveis, etapa do sistema FV, prog. Sunny Design  
Fonte: Manual de utilização do SUNNY DESIGN v.2.20, SMA, 2012

### 3.4.3 Janela do dimensionamento dos cabos

A janela do dimensionamento dos cabos é mostrada no item B da Figura 41.

**Projecto** Cabos de CC Cabos CA1 Cabos CA2  Subdistribuição existente

**Configurações**  
Considerar perdas de potência no cálculo do rendimento:  CC  CA

**Perdas totais**

	CC	CA	Total
Comprimento total do cabo:	360,00 m	40,00 m	400,00 m
Cortes transversais do cabo:	2,5 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup> ..10 mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup> ..10 mm <sup>2</sup>
Perda de potência no modo nominal:	86,27 W	66,78 W	153,05 W
Perda de potência rel. no modo nominal:	0,17 % ✓	0,20 % ✓	0,36 % ✓

Na seleção dos cortes transversais do cabo respeite as directivas nacionais e internacionais (p. ex. VDE, NEC etc.). A SMA Solar Technology AG recomenda uma perda de potência relativa no modo nominal de < 1% no lado de CA ou no lado de CC. Na cablagem de corrente trifásica não se considera a influência de diferentes factores de deslocamento!

Figura 41 - Etapa dimensionamento dos cabos, prog. Sunny Design  
Fonte: Manual de utilização do SUNNY DESIGN v.2.20, SMA, 2012

No item B, a área da aba de “Projeto”, exibida na Figura 42:

- 1- seleccionar, se presente, “subdistribuição existente”;
- 2- seleccionar em “configurações” as duas opções, CC e CA, para considerar as perdas no cálculo do rendimento. O programa não suporta o cálculo das perdas para algumas tensões de rede CA, apresentando neste caso um aviso e a caixa de seleção dos cabos CA fica indisponível.



**Figura 42 - Aba projeto, etapa dimensionamento dos cabos, prog. Sunny Design**  
**Fonte: Manual de utilização do SUNNY DESIGN v.2.20, SMA, 2012**

Selecionar a aba “cabos de CC” ou “cabos CA1”, exibida na Figura 43.



**Figura 43 - Aba cabos de CC, etapa dimensionamento dos cabos, prog. Sunny Design**  
**Fonte: Manual de utilização do SUNNY DESIGN v.2.20, SMA, 2012**

Onde:

- 1- seleccionar o material do cabo, o seu comprimento e seção transversal;
- 2- apresenta a corrente, queda de tensão e a perda de potência em (%), para os cabos CC.

Selecionar a aba de “Cabos CA1”, exibida na Figura 44.



**Figura 44 - Aba cabos CA1, etapa dimensionamento dos cabos, prog. Sunny Design**  
**Fonte: Manual de utilização do SUNNY DESIGN v.2.20, SMA, 2012**



Onde:

- 1- seleccionar o material do cabo, o seu comprimento e seção transversal. O programa não suporta o cálculo das perdas para algumas tensões de rede CA, apresentando neste caso uma advertência e a caixa de seleção dos cabos CA fica indisponível;
- 2- apresenta a corrente, queda de tensão e a perda de potência em %, para os cabos CA.

### 3.4.4 Janela do consumo próprio

A janela do consumo próprio é mostrada na Figura 45



**Figura 45 - Etapa consumo próprio, prog. Sunny Design**  
**Fonte: Manual de utilização do SUNNY DESIGN v.2.20, SMA, 2012**

Para o cálculo do consumo próprio:

- A- seleccionar uma das seguintes alternativas: sem consumo próprio, habitação privada, modo industrial ou perfil de consumo próprio, caso este exista na base de dados do programa. Seleccionar em "tipo" o tamanho da instalação;
- B- apresenta os resultados calculados em valores e em gráfico.

### 3.4.5 Janela vista geral

A janela vista geral é mostrada na Figura 46.

	Carga assimétrica	Fases			Rendimento energético anual (aprox.)	Rendimento energético espec. (aprox.)	Factor de eficiência do inversor	Coeficiente de eficiência (aprox.)
		L1	L2	L3				
✓ Novo projecto	1,60 kVA	4,60 kW	3,00 kW	3,00 kW	12476,90 kWh	1029 kWh/kWp	95,6 %	83,9 %
✓ Projecto parcial 1	1,60 kVA	4,60 kW	3,00 kW	3,00 kW	12476,90 kWh	1029 kWh/kWp	95,6 %	83,9 %
✓ 1 x SB 5000TL-21 (VDE-AR-N 4105)	4,60 kVA	1	0	0	5081,40 kWh	1030 kWh/kWp	95,5 %	83,9 %
✓ 1 x SB 3000TL-21	3,00 kVA	0	1	0	3625,90 kWh	1029 kWh/kWp	95,5 %	83,9 %
✓ 1 x SB 3000TL-21	3,00 kVA	0	0	1	3769,60 kWh	1028 kWh/kWp	95,7 %	83,8 %

Selecionar colunas

**Notas**

✓ Novo projecto Sistemas com uma potência instalada máxima de 30 kWp devem estar equipados com equipamentos técnicos conforme a legislação EEG 2012, com os quais o operador de rede consegue reduzir em qualquer altura a potência de alimentação em caso de sobrecarga da rede e aceder à respectiva alimentação real. Em alternativa, a alimentação máxima de potência activa do sistema no ponto de ligação à rede pode ser limitada em 70 % da potência instalada.  
Na Alemanha os sistemas de produção de energia têm de fornecer uma potência reactiva de 3,68 kVA a 13,8 kVA a partir de 1.1.2012 conforme o que foi predefinido pelo operador de rede. O factor de deslocamento dos inversores utilizados é adaptado automaticamente para 0,95 subexcitado (-).

**Figura 46 - Etapa vista geral, prog. Sunny Design**  
**Fonte: Manual de utilização do SUNNY DESIGN v.2.20, SMA, 2012**

Onde:

A- apresenta o nome do projeto, nome do projeto parcial, modelo do inversor e quantidades;

B- os resultados para o dimensionamento do sistema FV são apresentados em colunas;

C- seleciona ou remove colunas dos resultados da vista geral;

D- apresenta notas relativas ao dimensionamento.

### 3.4.6 Assistente de edição

A última etapa da barra de navegação do dimensionamento é o “assistente de edição”, o qual prepara o relatório para impressão de acordo com as partes selecionadas da configuração e os resultados correspondentes.

A Figura 47 apresenta a primeira parte do relatório: o resumo do sistema.

Universidade Tecnológica Federal do Paraná • Av. Sete de Setembro, 3165 •

UTFPR  
 Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
 Av. Sete de Setembro, 3165  
 80230-901 Curitiba-PR Brasil


Tel. (+55-41) 3310-4471  
 Fax. (+55-41) 3310-4475  
<http://www.utfpr.edu.br>

**Nome do projecto:** Projeto Didático  
**Número do** 01  
**Ficheiro de** Projeto Didático.sdp2

**Local de instalação:** Brazil / Porto Alegre  
 Tensão de rede: 1~220 V

**Resumo do sistema**

**20 x BP Solar BP 4170 (Gerador fotovoltaico 1)**  
 Azimute: 180°, Inclinação: 20°, Tipo de montagem: Telhado, Potência de pico: 3,40 kWp

 **1 x SB 3300-11**

**Dados estruturais**

Quantidade total de módulos FV:	20	Factor de utilização da energia:	100 %
Potência de pico:	3,40 kWp	Coefficiente de eficiência (aprox.)*:	79,8 %
Número de inversores:	1	Rendimento energético espec. (aprox.)*:	1193 kWh/kWp
Potência nominal CA:	3,30 kW	Perdas de potência (em % de energia FV):	0,07 %
Potência activa CA:	3,60 kW	Carga assimétrica:	3,30 kVA
Relação de potência activa:	105,9 %	Consumo próprio:	921,69 kWh
Rendimento energético anual (aprox.)*:	4054,90 kWh	Quota de consumo próprio:	22,7 %

Sunny Design 2.30.0.R

\_\_\_\_\_  
Assinatura

\*Importante: os valores de rendimento indicados são valores estimados. Eles são calculados matematicamente. A SMA Solar Technology AG não assume qualquer responsabilidade pelo valor de rendimento real, que pode divergir dos valores de rendimento aqui indicados. As diferenças podem dever-se a várias circunstâncias externas, p. ex. sujidade dos módulos fotovoltaicos ou flutuações do grau de eficiência dos módulos fotovoltaicos.

1 / 3

**Figura 47 - Relatório do resumo do sistema, prog. Sunny Design**  
**Fonte: Programa SUNNY DESIGN v.2.30, SMA, 2013**

A Figura 48 apresenta a segunda parte do relatório: o resumo da avaliação do dimensionamento do sistema.


### Avaliação do dimensionamento

<p><b>Nome do projecto:</b> Projeto Didático          Número do projecto: 01          Ficheiro de projecto: Projeto Didático.sdp2</p>	<p><b>Local de instalação:</b> Brazil / Porto Alegre  <b>Temperatura das células:</b>          Temperatura mínima: -10,00 °C          Temperatura de dimensionamento: 50,00 °C          Temperatura máxima: 70,00 °C</p>
---	--

**Projecto parcial 1**

**1 x SB 3300-11**

Potência de pico:	3,40 kWp	
Quantidade total de módulos FV:	20	
Número de inversores:	1	
Potência máx. CC (cos φ = 1):	3,82 kW	
Potência activa máx. CA (cos φ = 1):	3,60 kW	
Tensão de rede:	220 V	
Coefficiente da potência nominal:	112 %	✓
Factor de deslocamento cos φ:	1	

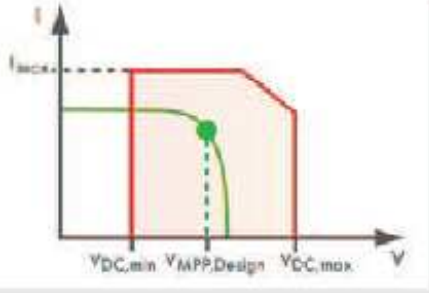


**SB 3300-11**

**Dados estruturais**

**Entrada A: Gerador fotovoltaico 1**  
 20 x BP Solar BP 4170, Azimute: 180°, Inclinação: 20°, Tipo de montagem: Telhado

	Entrada A:		
Número de strings:	2		
Módulos fotovoltaicos por string:	10		
Potência de pico (entrada):	3,40 kWp		
Tensão FV típica:	316 V	✓	
Tensão FV mín.:	284 V	✓	
Potência CC mín. (tensão de rede 220 V):	192 V		
Tensão FV máx.:	497 V	✓	
Tensão CC máx. (Inversor):	500 V		
Corrente máx. do gerador FV:	9,6 A	✓	
Corrente máx. de CC:	20,0 A		



**Sistema fotovoltaico / Inversor compatíveis**

Sunny Design 2.30.0.R

2 / 3

Figura 48 - Relatório da avaliação do dimensionamento, prog. Sunny Design  
 Fonte: Programa SUNNY DESIGN v.2.30, SMA, 2013

A Figura 49 apresenta a terceira parte do relatório: o resumo do consumo próprio.



**Figura 49 - Relatório do consumo próprio, prog. Sunny Design**  
**Fonte: Programa SUNNY DESIGN v.2.30, SMA, 2013**

### 3.5 PVSYST

O programa PVSYST é um dos mais completos e populares programas de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos do mercado, sendo de uso genérico e não estando vinculado aos fabricantes de inversores. O programa é comercializado pela PVSYST SA da Suíça, cuja especialidade é o desenvolvimento e distribuição de softwares comerciais para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede ou isolados, com várias funcionalidades e ferramentas, tais como: simulação de produção de eletricidade, avaliação econômica, pré-dimensionamentos, efeitos de sombreamentos, importação de dados meteorológicos e outras facilidades. A empresa também realiza treinamentos presenciais e por videoconferência denominada *webinar*<sup>6</sup> (PVSYST, 2013).

#### PROGRAMA PVSYST

É um programa de dimensionamento para ser utilizado por arquitetos, engenheiros e pesquisadores, além de ser uma ferramenta de grande valor pedagógico. Até a versão 5.4 (junho/2011) o software foi desenvolvido pelo Grupo de Energia do Instituto de Ciências do Meio Ambiente da Universidade de Genebra, liderado pelo Dr. André Mermoud. Os direitos autorais pertencem à Universidade de Genebra, devido ao financiamento das pesquisas por fundos federais da Suíça. O programa é desenvolvido somente para ambiente MS-Windows. O idioma básico é o inglês, porém já está parcialmente traduzido para alemão, francês, espanhol e italiano, com os principais menus do sistema conectado à rede já traduzidos. O manual de ajuda ao contexto do programa está disponível somente em inglês, sendo composto de 232 páginas em formato pdf, cujo arquivo pode ser descarregado gratuitamente do site da PVSYST. Este documento adverte na sua página inicial de que o mesmo não se trata de um manual do usuário do programa e que tal manual está em preparação.

A versão de avaliação do programa pode ser descarregada do site <<http://www.pvsyst.com>>, com um tamanho de cerca de 60 MB. Uma vez instalado,

---

<sup>6</sup> *Webinar* é abreviação de *web-based seminar*, que é um treinamento à distância, no qual a comunicação ocorre em uma via apenas, ou seja, uma pessoa fala e as demais assistem, com contato dos participantes via *chat* (PVSYST,2013).

o programa funcionará no modo *EVALUATION* com todas as suas funcionalidades disponíveis pelo período de 30 dias, porém a impressão de relatórios conterá a marca d'água "*Evaluation mode*". Findo este lapso de tempo, o programa passa ao modo *DEMO*, com a perda de muitas funcionalidades, limitando ainda a base de dados a poucas localidades. Comprando uma licença, o uso do programa será completo e ilimitado (modo *LICENSED*). São comercializadas licenças de uso com preços diferenciados: *PRO30* para instalações até 30 kW e *PREMIUM* para todas as instalações FV, porém as funcionalidades são as mesmas. No site existe uma tabela na aba *Order/Prices* que apresenta os valores correntes das licenças em: CHF (franco suíço), EUR (euro), USD (dólar americano) e GBP (pound ou libra esterlina). Institutos educacionais devem contatar a seção de relações com o consumidor e comunicações, para obter condições vantajosas.

#### Funcionalidades:

O programa PVSYST fornece relatórios detalhados, com gráficos, tabelas e dados do projeto. Possui uma ajuda ao contexto que detalha os procedimentos e modelos adotados no programa. Algumas etapas dispõem de tutorial para auxiliar o desenvolvimento de projetos. Visão geral dos utilitários e ferramentas disponíveis:

- projeto preliminar para estudo inicial da instalação com estimativa de produção;
- desenvolvimento de projeto, com dimensionamento de sistemas conectados à rede, dimensionamento de cabos CC e CA, estudo de perdas por sombreamentos, simulação de produção, estimativa de perdas;
- permite importação e exportação de dados de várias fontes diferentes, inclusive da base de dados meteorológicos METEONORM;
- relatório completo dos resultados, simulação de produção energética, estimativa de remuneração, análise econômica.

#### Requisitos do sistema:

MS-Windows 7, Vista, XP (Windows NT, 98, 95), 32 bits e 64 bits; MAC OSX (todos); Linux com uma máquina virtual com Windows 32-bits (por exemplo VirtualBox); 64 MB de RAM, Monitor SVGA colorido; 75 MB de espaço em disco rígido para a instalação completa de bibliotecas de componentes e meteorológicos.

#### Descrição geral:

O programa oferece três níveis de análise do sistema FV, que correspondem aproximadamente às diversas etapas de desenvolvimento do projeto: projeto preliminar, elaboração do projeto, análise dos dados medidos.

**Projeto preliminar:** é a etapa de pré-dimensionamento de um projeto FV.

Esta etapa é uma estimativa grosseira da produção de energia do sistema FV durante uma avaliação inicial de um *site*. São utilizados alguns parâmetros ou características gerais do sistema, sem especificar os seus componentes reais, assim nesta etapa não é possível definir um modelo de módulo FV e nem um modelo de inversor. As avaliações de produção do sistema são informadas rapidamente por valores mensais. Uma estimativa simplificada de custos está disponível nesta etapa, sendo os aspectos financeiros baseados em hipóteses de larga variação de país para país. Este nível se aplica para os sistemas conectados à rede e especialmente para sistemas FV integrados à edificações, sendo recomendado para as necessidades de arquitetos. Exigem informações da área disponível, da tecnologia FV (cores, transparência) e dos recursos financeiros desejados ou projetados.

**Elaboração do projeto:** é a etapa que realiza um projeto FV completo.

O usuário pode fazer diferentes simulações do sistema e compará-las. A performance do sistema é simulada na produção detalhada por hora, que fornece resultados mais realistas. Deve ser informada a orientação (azimute), a inclinação dos módulos FV, o tipo de montagem e realizar a escolha dos componentes específicos do sistema, tais como: modelo do módulo FV, o número de módulos FV e o modelo de inversor. Em um segundo passo, o usuário pode especificar parâmetros mais detalhados e fazer uma análise apurada do seu comportamento térmico, do cabeamento elétrico da instalação, da qualidade do módulo FV, das incompatibilidades e perdas devido ao ângulo de incidência, dos sombreamentos na linha do horizonte e por objetos próximos, permitindo ainda outros detalhamentos. Os resultados incluem várias dezenas de variáveis de simulação, que podem ser exibidos em valores mensais, diários ou por hora. A ferramenta "diagrama de perdas" é particularmente útil para identificar os pontos fracos do projeto do sistema FV. Um relatório pode ser impresso para cada simulação, incluindo todos os parâmetros utilizados para a simulação e os principais resultados. A avaliação



econômica detalhada pode ser realizada utilizando preços de mercado dos componentes, custos adicionais e as condições de investimento.

Análise dos dados medidos: esta é uma ferramenta de avaliação posterior à instalação do sistema FV, que utiliza dados reais da produção para exibir tabelas e gráficos da sua performance real, além de realizar comparações com variáveis simuladas para aprimorar o seu funcionamento, permitindo a constatação e identificação do menor mau funcionamento.

## VISTA GERAL DO PROGRAMA

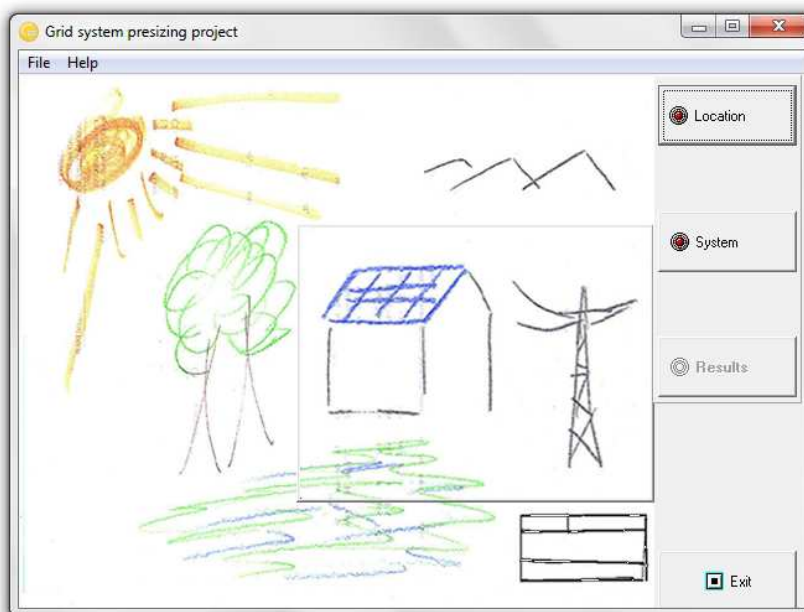
O programa é organizado em barras e janelas, sendo apresentada na Figura 50 a interface principal do programa PVSYST.



**Figura 50 - Interface principal do programa PVSYST**  
Fonte: **Software PVSYST v.6.10-EVALUATION, PVSYST SA, 2013**

Pré-dimensionamento:

Conforme advertência no manual de ajuda ao contexto (capítulo 3 - *Preliminary design, Grid System Presizing*, página 18, *User's Guide PVSYST Contextual Help*, PVSYST SA, 2012), esta é uma ferramenta que não deverá ser utilizada para o estudo de um sistema, já que se trata de recurso bastante limitado e de resultados estimados e, por este motivo, este trabalho não irá se aprofundar nesta etapa. Esta etapa está representada na Figura 51.



**Figura 51 - Etapa de pré-dimensionamento de projeto conectado à rede, prog. PVSYST**  
**Fonte: Software PVSYST v.6.10-EVALUATION, PVSYST SA, 2013**

Elaboração do projeto:

As principais etapas para elaboração de um projeto no programa PVSYST são:

- Definir o projeto, que basicamente é: a definição geográfica e do arquivo de dados meteorológicos;
- Definir a primeira configuração do sistema, com um conjunto mínimo de parâmetros, facultando ao programa o fornecimento dos demais parâmetros com base em valores *default*. Simular e salvar esta variante inicial;
- Definir sucessivas variantes, adicionando progressivamente neste sistema inicial novas perturbações, tais como: sombreamentos próximos, sombreamentos globais, outras perdas específicas, etc. Cada nova variante pode ser salva para realizar comparações.

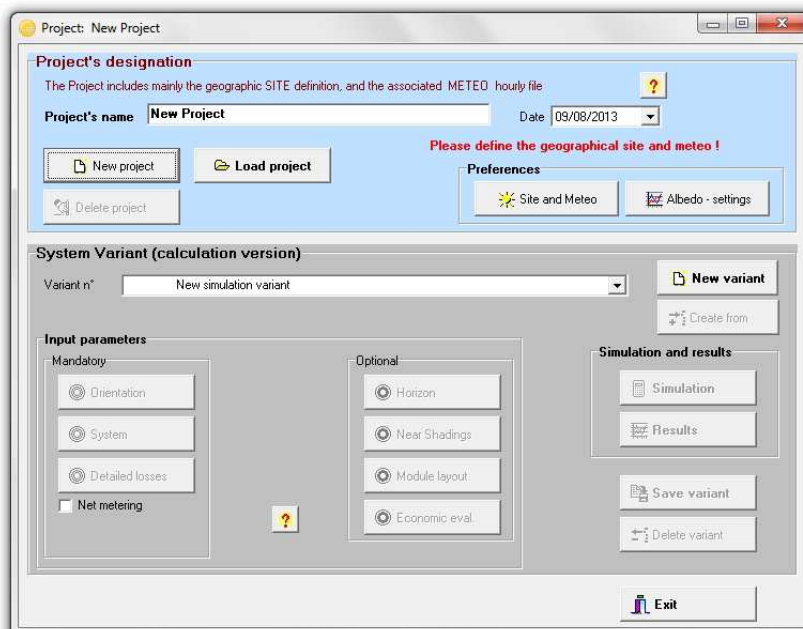
### 3.5.1 Definir o novo projeto

Na janela principal do PVSYST clicar em “*project design*” e “*grid-connected*”, conforme exibido na Figura 52.



**Figura 52 - Selecionar o dimensionamento de projeto conectado à rede, interface principal do prog. PVSYST**  
**Fonte: Software PVSYST v.6.10-EVALUATION, PVSYST SA, 2013**

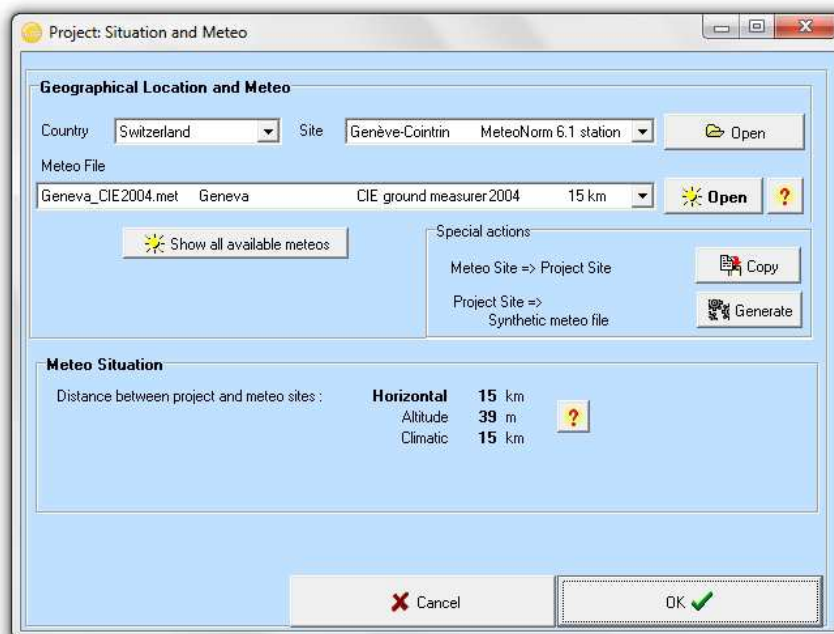
Na janela seguinte clicar em “*project*” e a seguir em “*new project*”. A seguir clicar em “*preferences*” e após “*site and meteo*”, conforme exibido na Figura 53.



**Figura 53 - Janela de definição do novo projeto, prog. PVSYST**  
**Fonte: Software PVSYST v.6.10-EVALUATION, PVSYST SA, 2013**

Nesta janela também pode ser carregado um projeto anteriormente salvo, clicando em “*load project*”.

Na janela “*situation and meteo*” é necessário realizar a definição do projeto, que é a seleção da localização e do arquivo de dados meteorológicos, conforme mostrado na Figura 54.



**Figura 54 - Janela de definição da localização e dos dados meteorológicos do novo projeto, prog. PVSYST**  
**Fonte: Software PVSYST v.6.10-EVALUATION, PVSYST SA, 2013**

O usuário deve selecionar “*country*” e “*site*”. Caso o usuário queira definir o seu próprio site, o qual não está na base de dados, é necessário defini-lo primeiro na base de dados em “*tools*”, “*geographical location*”. Automaticamente é criado um arquivo de dados horários com o seguinte nome: *site\_Syn.MET*. Nesta etapa o usuário também pode selecionar outro arquivo de dados de extensão \*.MET disponível.

O passo seguinte é clicar em “*preferences*”, “*albedo - settings*”, conforme exibido na Figura 55. De modo geral, o usuário não necessita alterar o valor *default* de 0,2. Outros valores diferentes somente se aplicam para localidades com clima de montanha, que tenham neve por um ou dois meses, o que não é o caso do Brasil.

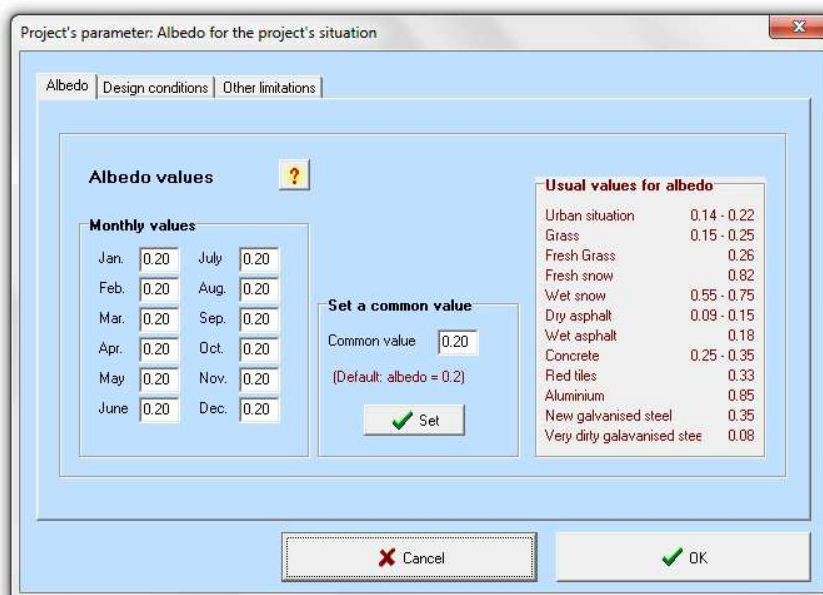


Figura 55 - Janela de definição dos parâmetros do novo projeto, aba "Albedo", prog. PVSYS  
 Fonte: Software PVSYS v.6.10-EVALUATION, PVSYS SA, 2013

A aba "design conditions" deve estar com os valores *default* selecionados, de acordo com a Figura 56.

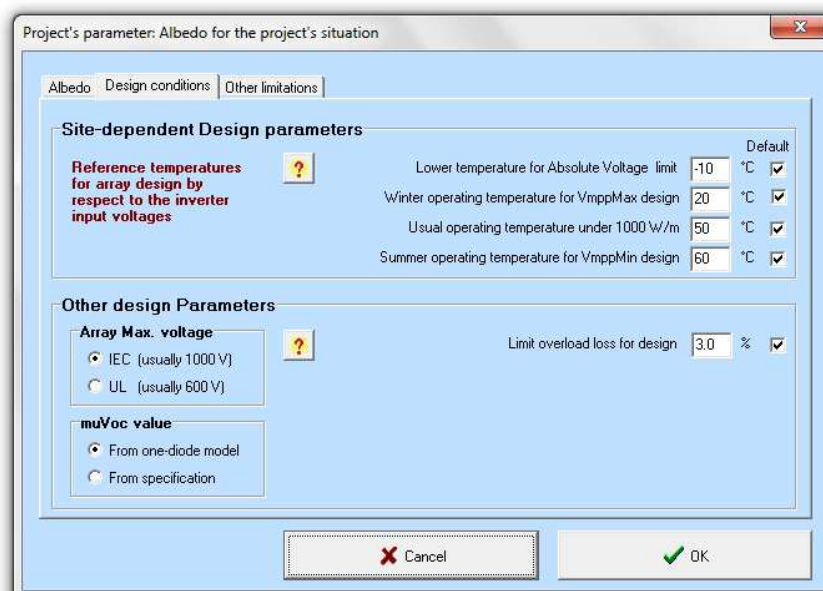
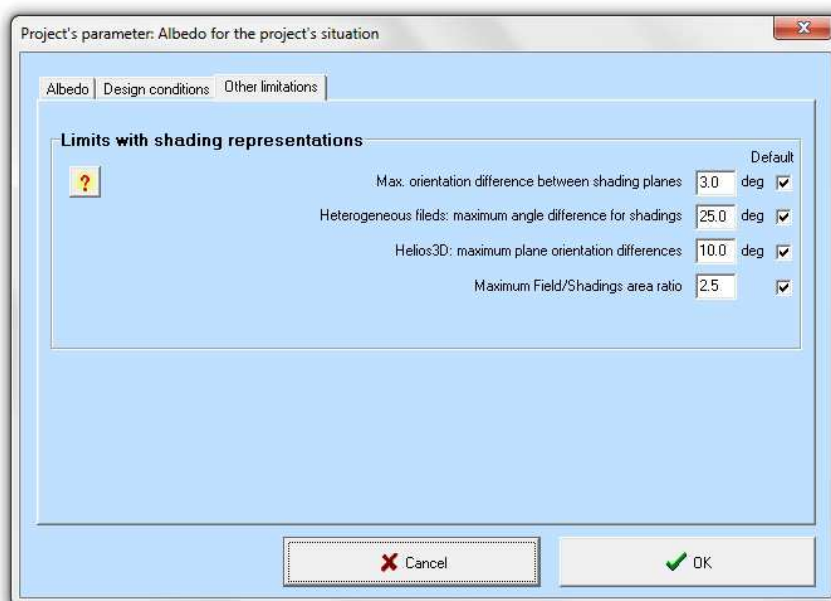


Figura 56 - Janela de definição dos parâmetros do novo projeto, aba "Condições do projeto", prog. PVSYS  
 Fonte: Software PVSYS v.6.10-EVALUATION, PVSYS SA, 2013

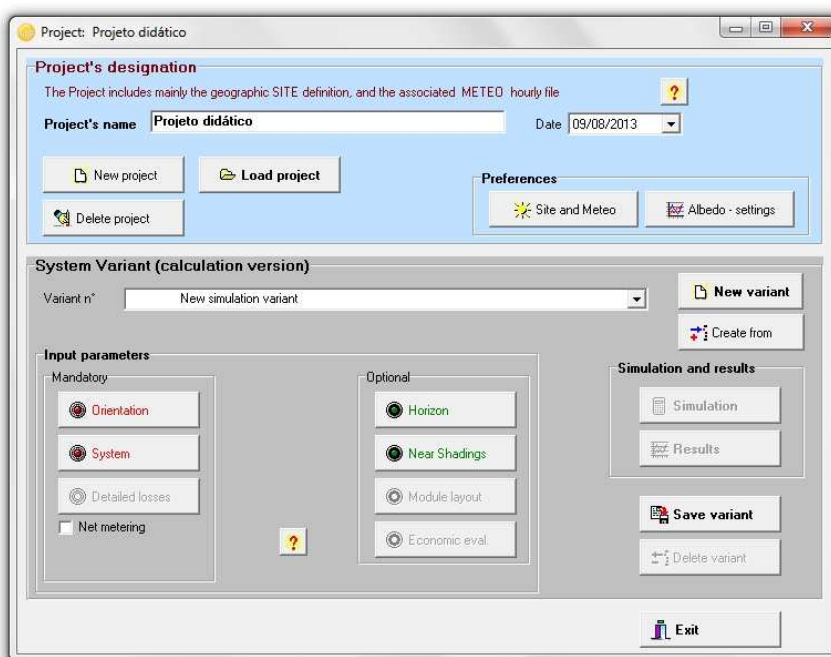
A aba "other situations" também deve estar com os valores *default* selecionados, de acordo com a Figura 57.



**Figura 57 - Janela de definição dos parâmetros do novo projeto, aba “Outras limitações”, prog. PVSYST**

**Fonte: Software PVSYST v.6.10-EVALUATION, PVSYST SA, 2013**

Após clicar em OK, é solicitado ao usuário salvar o projeto inicial. Deve ser digitado um nome para o novo projeto, assim todos os arquivos relativos a este projeto terão o mesmo nome, porém variando a sua extensão. Por fim, salvar o projeto inicial. A Figura 58 apresenta esta etapa:



**Figura 58 - Caixa de diálogo da definição de nova variante do sistema, prog. PVSYST**  
**Fonte: Software PVSYST v.6.10-EVALUATION, PVSYST SA, 2013**

### 3.5.2 Criar a primeira variante do sistema

Na janela “*system variant*”, as etapas são apresentadas por meio de botões com o seguinte código de cores e significados:

- vermelho - parâmetros devem ser definidos, ou não são aceitáveis;
- laranja – parâmetros aceitáveis, mas não os ideais;
- verde iluminado - parâmetros definidos ou corretos;
- verde apagado – significa que este tema não está definido para esta versão.

O botão da etapa “*simulation*” será ativado somente após nenhum outro botão estar vermelho.

Como pode ser observado na Figura 59, a caixa de diálogo “*input parameters*” compreende itens obrigatórios (“*mandatory*”) e opcionais (“*optional*”). Os itens obrigatórios são três: *orientation*, *system*, *detailed losses*.

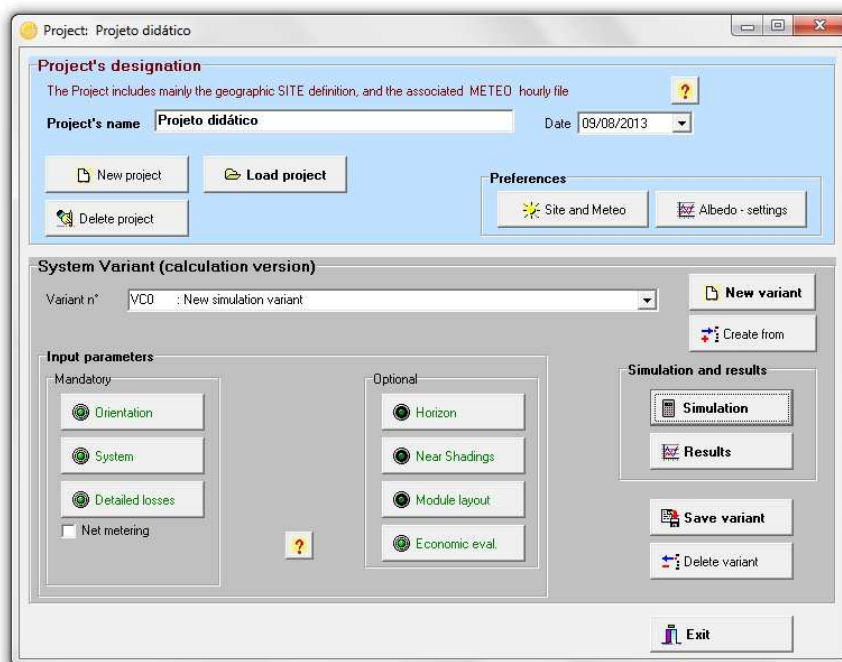
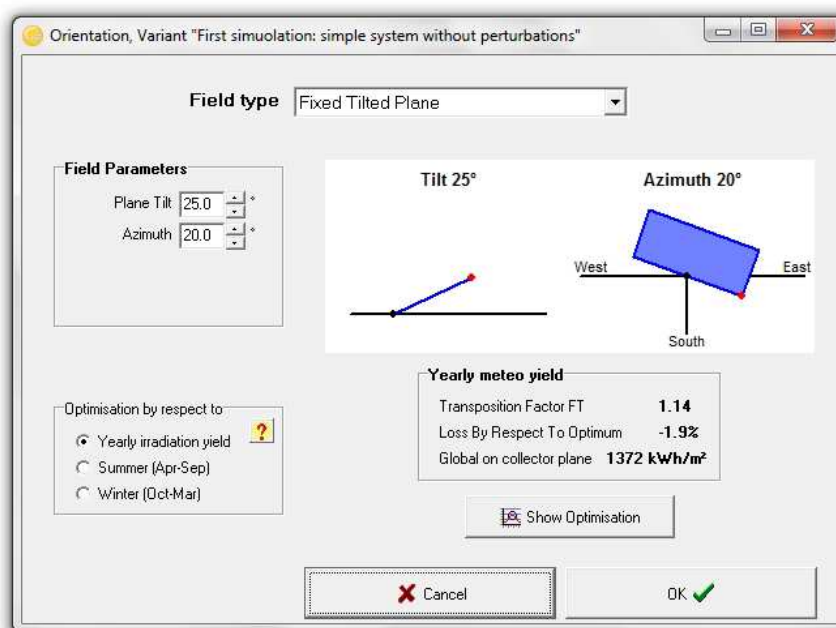


Figura 59 - Seleção dos parâmetros de entrada obrigatórios e opcionais, na caixa de diálogo da definição de nova variante do sistema, prog. PVSYSY  
Fonte: Software PVSYSY v.6.10-EVALUATION, PVSYSY SA, 2013



### 3.5.2.1 Orientação

Na caixa de diálogo “*input parameters*”, clicar no botão “*orientation*” para acessar as suas definições. Na janela “*orientation*”, selecionar o modo de instalação dos módulos fotovoltaicos. Na caixa de diálogo “*field parameters*”, selecionar a inclinação e o azimute, conforme mostrado na Figura 60.



**Figura 60 - Janela do parâmetro de entrada obrigatório “Orientação”, na caixa de diálogo da definição de nova variante do sistema, prog. PVSYS**  
**Fonte: Software PVSYS v.6.10-EVALUATION, PVSYS SA, 2013**

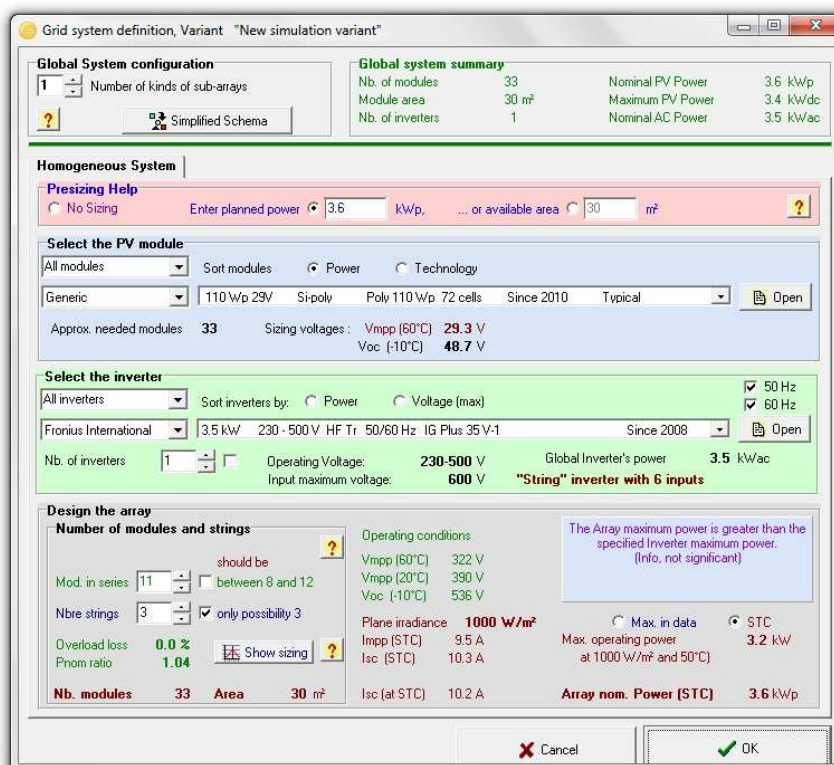
Após definidas as orientações, verificar na ferramenta “*show optimisation*” como as opções selecionadas se situam em relação à condição ideal, em especial ao FT - fator de transposição, apresentado em gráficos e perdas (%). Na caixa de diálogo “*optimisation by respect to*”, deverá ser selecionado “*yearly irradiation yield*” (otimização em todo o ano) para sistemas conectadas à rede. Clicar em “OK” para voltar a janela “*system variant*”.

### 3.5.2.2 Sistema

Na janela “*input parameters*” clicar no botão “*system*” para acessar as suas definições, mostradas na Figura 61. Inicialmente na caixa de diálogo “*global system configuration*”, selecionar o número de sub-arranjos: se apenas um, será mostrada



apenas a aba “*homogeneous system*”. Caso selecionado dois ou mais sub-arranjos, serão mostradas abas correspondentes para cada sub-sistema:



**Figura 61 - Janela do parâmetro de entrada obrigatório “Sistema”, na caixa de diálogo da definição de nova variante do sistema, prog. PVSYS**  
**Fonte: Software PVSYS v.6.10-EVALUATION, PVSYS SA, 2013**

Na caixa de diálogo “*presizing help*”, deve ser selecionada uma das opções: “*no sizing*” (não dimensionar), “*enter planned power*” (potência planejada) ou “*available area*” (área disponível). Caso o usuário selecione a potência planejada ou a área disponível, o programa adiciona algumas opções nas janelas para auxiliar o dimensionamento dos sistemas FV, sugerindo o número de módulos em série e em paralelo, conforme o modelo do módulo FV e do inversor selecionado.

Em “*select the PV module*” selecionar o módulo FV desejado da lista de todos os módulos ou da lista favoritos. A lista de módulos pode ser ordenada por dois parâmetros: “*power*” (potência) ou “*technology*” (tecnologia). O usuário pode criar um novo módulo no botão “*open*” (abrir). Neste caso, é aberta uma janela na qual o usuário deverá inserir os parâmetros necessários do módulo FV e ao final poderá selecionar a opção “*copy to table*” para salvar os dados na área de *clipboard* e posteriormente importá-los para planilhas Excel.

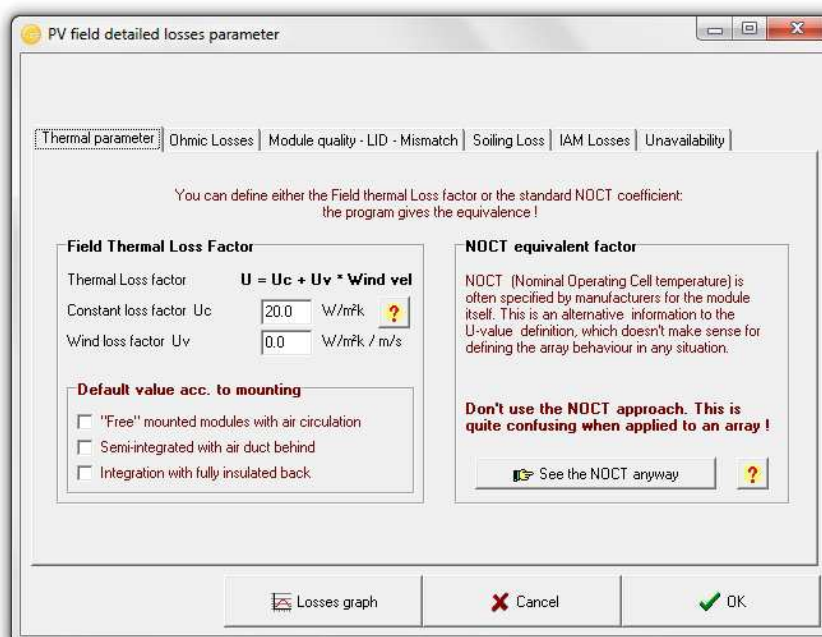
Em “*select the inverter*” selecionar o inversor desejado da lista de todos os

inversores ou da lista favoritos. A lista de inversores pode ser ordenada por dois parâmetros: “*power*” (potência) ou “*voltage max*” (máxima tensão). Caso o inversor selecionado da lista tenha opção de múltiplas entradas MPPT, a caixa de seleção de número de inversores alterna para inversor com múltiplas entradas MPPT. O usuário pode criar um novo inversor no botão “*open*” (abrir). Neste caso, é aberta uma janela na qual o usuário deverá inserir todos os parâmetros necessários do inversor e ao final poderá selecionar a opção “*copy to table*” para salvar os dados na área de *clipboard* e posteriormente importá-los para planilhas Excel.

Na janela “*design the array*” (dimensionar o arranjo) deve ser selecionada, dentro de uma faixa sugerida pelo programa, a quantidade de módulos FV em série e em paralelo para obter a potência desejada para o sistema. A cada seleção do usuário, o programa informa a otimização do dimensionamento do inversor com o arranjo dos módulos FV.

### 3.5.2.3 Perdas detalhadas

O último parâmetro obrigatório da janela “*input parameters*” são as perdas detalhadas, clicando no botão “*detailed losses*”, mostrada na Figura 62:



**Figura 62 - Janela do parâmetro de entrada obrigatório “Perdas detalhadas”, na caixa de diálogo da definição de nova variante do sistema, prog. PVSYSST**  
**Fonte: Software PVSYSST v.6.10-EVALUATION, PVSYSST SA, 2013**

O programa utiliza nesta etapa valores *default* para as perdas, porém o usuário poderá definir as perdas desejadas para aprofundamento da análise do sistema FV, introduzindo dados mais precisos. O programa considera os seguintes tipos de perdas para o sistema FV:

- perdas térmicas (“*thermal losses*”);
- perdas ohmicas do cabeamento (“*ohmic wiring losses*”);
- perdas de qualidade dos módulos FV (“*module quality losses*”);
- perdas devido à degradação inicial dos módulos cristalinos (“*light induced degradation*”);
- perdas devido à incompatibilidade com o MPPT do inversor (“*mismatch losses*”);
- perdas devido às sujeiras sobre os módulos FV (“*soiling losses*”);
- perdas devido ao ângulo de incidência (“*incidence angle modifier*”);
- perdas por indisponibilidade do sistema (“*unavailability*”).

O usuário pode clicar no botão “*simulation*” se o mesmo estiver ativo, ou seja, caso não existam botões na cor vermelha. A janela “*simulation variant*” é aberta e na caixa “*simulation parameters*” o usuário pode escrever uma breve descrição desta variante. A seguir clicar no botão “*simulation*”, abre-se a janela “*hourly simulation progress*” e por fim clicar em “OK”. É aberta a janela “*results variant*” (resultados da variante), onde são exibidos os parâmetros da simulação, os principais resultados, os quais podem ser detalhados em botões específicos na caixa “*detailed results*”. O usuário pode imprimir um relatório, o qual nesta etapa conterà três páginas, sendo a primeira dos parâmetros da configuração, a segunda página dos principais resultados, gráficos e tabelas de valores mensais e a terceira página das perdas do sistema, a qual pode ajudar a detectar erros de dimensionamento. O usuário deverá salvar a variante utilizando o botão “*save as new*”, para não sobreescrever em uma variante salva inicialmente, caso exista.

### 3.5.3 Definir sucessivas variantes do sistema

Após a primeira simulação, o usuário poderá adicionar novas particularidades ao projeto e salvá-las, de forma a torná-lo o mais realista possível.

Retornando na janela “*input parameters*”, o usuário poderá informar os parâmetros de entrada opcionais (“*optional*”). Os itens opcionais são quatro: “*horizon*”, “*near shadings*”, “*module layout*”, “*economic evaluation*”.

### 3.5.3.1 Horizonte (“*horizonte*”)

Uma ferramenta do programa facilita o desenho da linha do horizonte, representada por pontos e curvas. Os objetos que fazem o sombreamento deverão estar longe do sistema FV, causando um efeito global sobre toda a instalação FV. Como referência, esta distância deverá ser acima de dez vezes o tamanho do sistema FV. Clicando no botão “*horizon*” é aberta uma janela com um gráfico que representa o caminho que o sol percorre no horizonte para a localização desejada, conforme a Figura 63. Clicar sobre os pontos da linha vermelha e arrastar para a posição desejada, obtendo assim uma representação manual da linha do horizonte. Podem ser adicionados novos pontos até se obter um total de doze pelo botão direito do mouse, bem como excluídos, se desejado. A linha do horizonte também poderá ser obtida de instrumentos, tal como o “SunEye” ou também importada dos *softwares*: “Carnaval” e “Horiz’ON”.

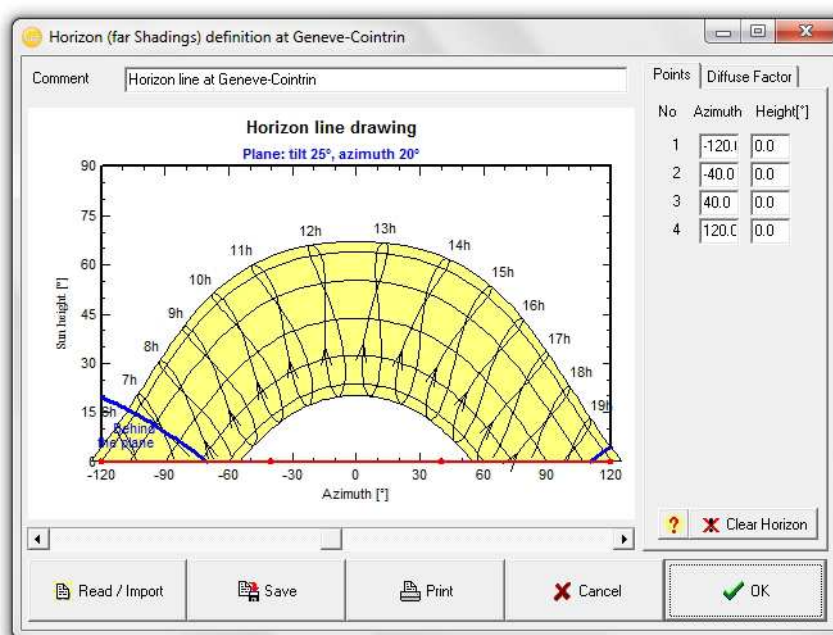


Figura 63 - Janela do parâmetro de entrada opcional “Horizonte”, na caixa de diálogo da definição de nova variante do sistema, prog. PVSYSY  
 Fonte: Software PVSYSY v.6.10-EVALUATION, PVSYSY SA, 2013

### 3.5.3.2 Sombreamentos próximos (“near shadings”)

São as sombras sobre uma parte dos módulos fotovoltaicos, causadas por objetos vizinhos à instalação FV, as quais se alteram no decorrer do dia e ainda conforme a estação do ano. É necessária a construção de uma cena em três dimensões (3D) da instalação FV e dos objetos próximos, utilizando a ferramenta existente no programa. O manual de ajuda ao contexto define este item como o mais complexo do programa, assim, para o usuário iniciante, o manual fornece um tutorial passo a passo da utilização desta ferramenta, com o exemplo de uma cena 3D de uma fazenda, constituída pelos módulos FV, construções, silo e árvores. Na janela dedicada a esta etapa, clicar no botão “*construction/perspective*” para acessar a ferramenta “*global scene view*”, conforme a Figura 64.

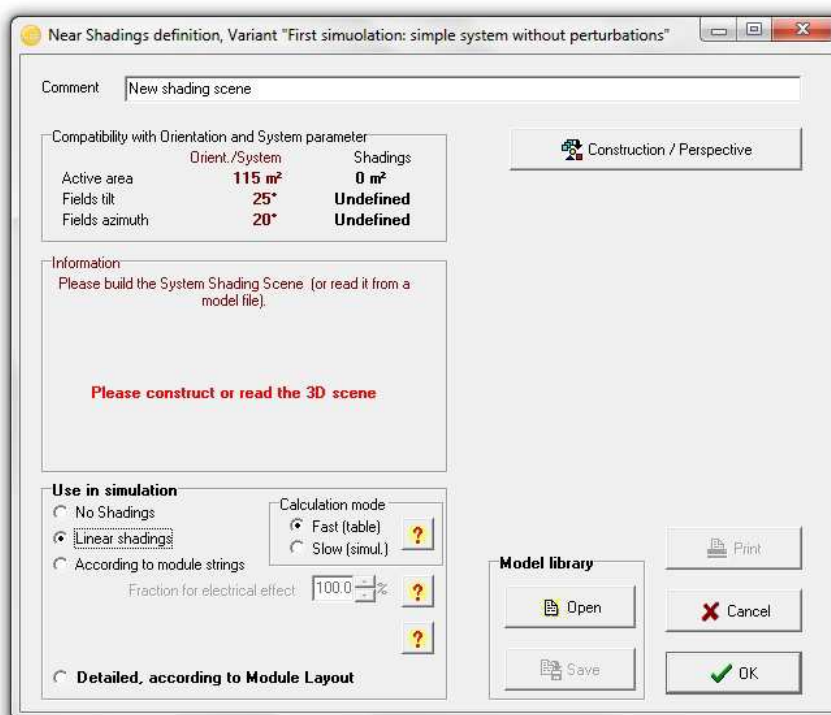
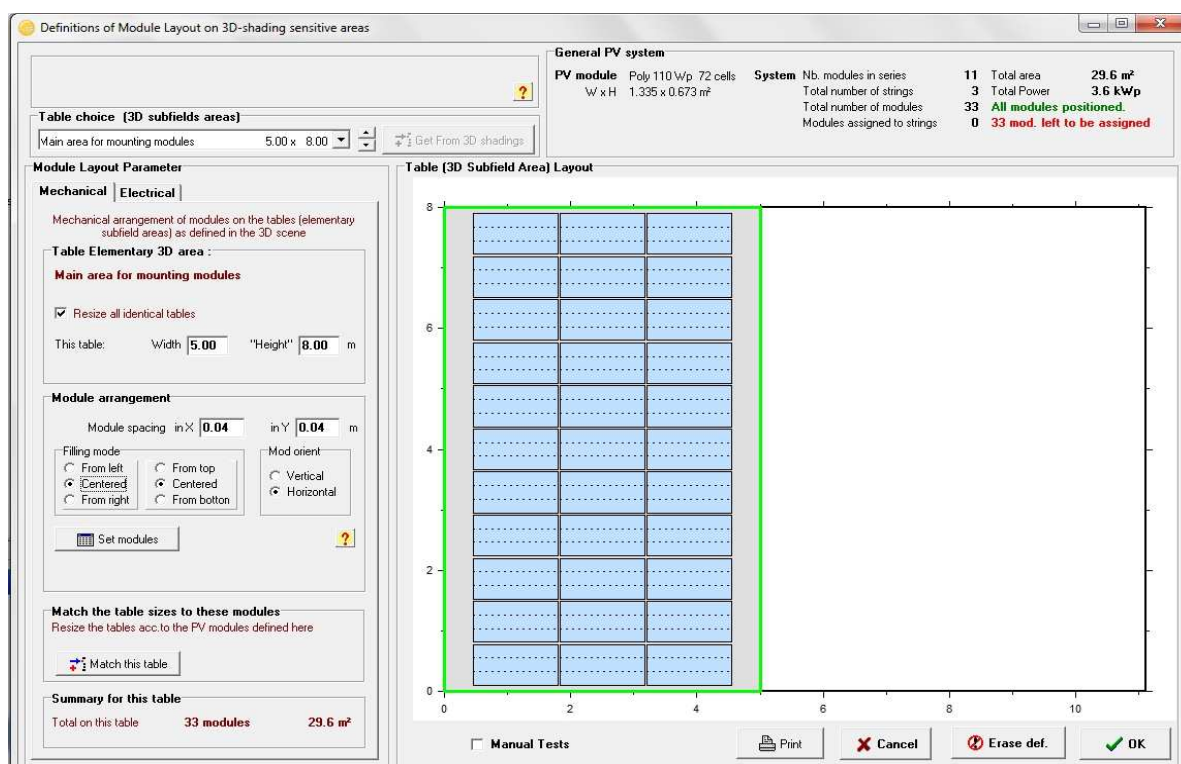


Figura 64 - Janela do parâmetro de entrada opcional “Sombreamentos próximos”, na caixa de diálogo da definição de nova variante do sistema, prog. PVSYST  
Fonte: Software PVSYST v.6.10-EVALUATION, PVSYST SA, 2013

### 3.5.3.3 Layout dos módulos (“module layout”)

É uma ferramenta que descreve o arranjo geométrico dos módulos FV na instalação e suas interconexões, conforme a Figura 65. O manual de ajuda ao

contexto relata que a ferramenta ainda é apenas descritiva, que independe do projeto elétrico e não tem influência para as simulações, portanto, também não é mencionada no relatório final. Ainda conforme o manual, nas próximas versões esta ferramenta deverá estar integrada aos cálculos de sombreamentos 3D, para uma avaliação mais precisa das suas perdas.



**Figura 65 - Janela do parâmetro de entrada opcional “Layout dos módulos”, na caixa de diálogo da definição de nova variante do sistema, prog. PVSYS**  
**Fonte: Software PVSYS v.6.10-EVALUATION, PVSYS SA, 2013**

### 3.5.3.4 Avaliação econômica (“*economic evaluation*”)

O usuário poderá selecionar o botão “*economic evaluation*” na caixa de diálogo “*system variant*”. Na janela “*economic evaluation*”, mostrada na Figura 66, o usuário deverá selecionar o país para os cálculos na moeda desejada, e após, poderá adicionar os demais valores, obtendo ao final: a produção anual, os custos anuais e o custo da energia produzida pelo sistema projetado.



**Economic evaluation**

**Project and Simulation variant**  
 Project: Projeto didático  
 Simulation: New simulation variant  
 PV Array, Pnom = 3.6 kWp System: Grid-Connected System  
 PV module: Poly 110 Wp 72 cells Inverter: IG Plus 35 V-1

Values:  
 Global  By Wp  
 By piece  By m²

**Investment**

PV modules	33 units of 110 Wp	500.00	Real / pc
Supports / Integration		100.00	Real / pc
Inverter	1 unit of 3.50 kW	9000.00	Real / pc
Settings, wiring, ...		3000.00	Real
Others, miscellaneous...		0.00	Real
Substitution underworth		0.00	Real
<b>Gross investment, (excl. taxes)</b>		<b>31800.00</b>	<b>Real</b>

**Financing**

Taxes	15.00 %	4770.00	Real
Subsidies		0.00	Real
<b>Net investment</b>		<b>36570.00</b>	<b>Real</b>
Annuities		2934.47	Real / yr
Running Costs, Maintenance, insur.		100.00	Real / yr
<b>Total yearly cost</b>		<b>3034.47</b>	<b>Real / yr</b>

**Loan**  
 Duration: 20 Years  
 Rate: 5.0 %  
 Ann. factor 8.02 %cap./yr

**Currency**  
 Brazil  
 Rates

**Energy cost**

Produced Energy	4259 kWh / year
Yearly cost	3034 Real / year
Energy cost	0.71 Real / kWh

Financial Balance Print Cancel OK

**Figura 66 - Janela do parâmetro de entrada opcional “Avaliação econômica”, na caixa de diálogo da definição de nova variante do sistema, prog. PVSYS**  
**Fonte: Software PVSYS v.6.10-EVALUATION, PVSYS SA, 2013**

O usuário poderá voltar na caixa “*system variant*” e clicar no botão “*simulation*”. A janela “*simulation variant*” é aberta e na caixa de diálogo “*simulation parameters*”, o usuário poderá escrever uma breve descrição desta nova variante. A seguir, clicar no botão “*simulation*”, como mostrado na Figura 67:

**Simulation, Variant: "New simulation variant"**

**Simulation parameters**

Variant: **New simulation variant**

Project	Projeto didático	PV module	Poly 110 Wp 72 cellster	IG Plus 35 V-1
Site	Genève-Cointrin	Unit power	110 Wp	Unit power 3.5 kW
Horizon	Free Horizon	Nb. modules	33	Nb. inverters 1
System	Grid-Connected	Array Power	3.63 kWp	Pnom AC 3.50 kWac

**Preliminary definitions**  
 Optional further definitions. For refined data analysis only.

Hourly data storage  
 Special graphs  
 Output File  
 Batch simulation

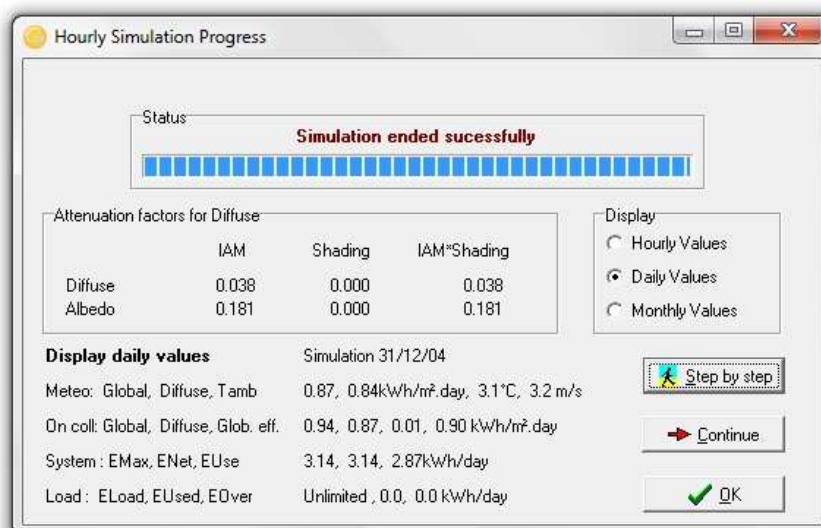
**Simulation dates**  
 These dates correspond to the dates of your meteo file. They cannot be overcome.

from: 01/01/2004  Meteo beginning  
 up to: 31/12/2004  Meteo end

Back to params. Simulation Results

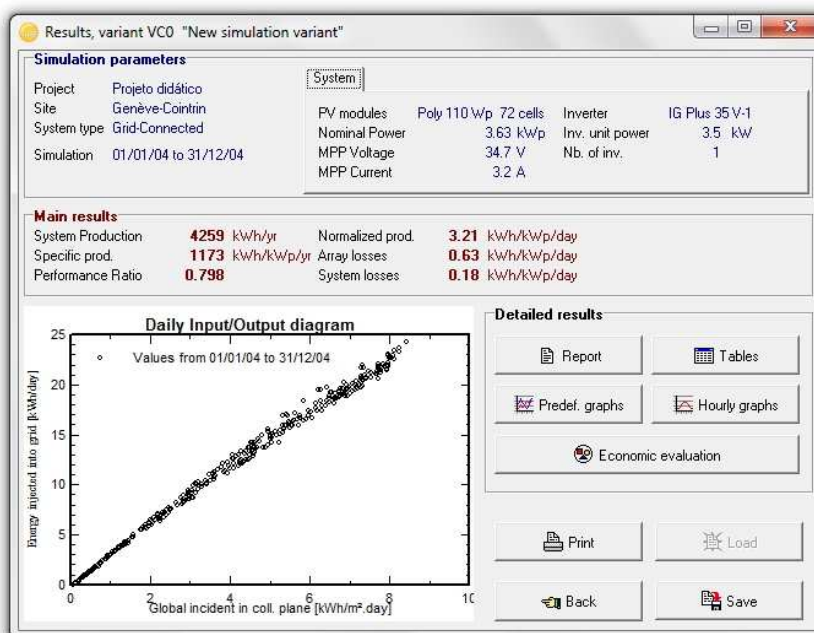
**Figura 67 - Janela aberta após seleção do botão “Simulation”, no item “Simulation and results”, definição de nova variante do sistema, prog. PVSYS**  
**Fonte: Software PVSYS v.6.10-EVALUATION, PVSYS SA, 2013**

A janela “*hourly simulation progress*” é aberta e após a caixa “*status*” indicar “*simulation ended successfully*”, clicar em “OK”, conforme mostrado na Figura 68.



**Figura 68 - Janela “*hourly simulation progress*”, após seleção do botão “*Simulation*” no item “*Simulation and results*”, definição de nova variante do sistema, prog. PVSYS**  
**Fonte: Software PVSYS v.6.10-EVALUATION, PVSYS SA, 2013**

É aberta a janela “*results variant*” (resultados da variante), conforme mostrado na Figura 69, onde são exibidos os parâmetros da simulação, os principais resultados, os quais podem ser detalhados clicando nos botões específicos na caixa “*detailed results*”.



**Figura 69 - Janela aberta após seleção do botão “*Results*”, no item “*Simulation and results*”, na caixa de diálogo da definição de nova variante do sistema, prog. PVSYS**  
**Fonte: Software PVSYS v.6.10-EVALUATION, PVSYS SA, 2013**



### 3.5.4 Relatório

O usuário poderá imprimir um relatório final, o qual nesta etapa conterà quatro páginas, sendo a primeira dos parâmetros da configuração, a segunda dos principais resultados, gráficos e tabelas de valores mensais, a terceira das perdas do sistema e a quarta apresenta a avaliação econômica do sistema projetado. O usuário deverá salvar a variante utilizando o botão “save as *new*”, para não sobrescrever em uma variante salva anteriormente.

A primeira página do relatório final “parâmetros da simulação”, é apresentada na Figura 70.

PVSYST V6.10		09/08/13		Page 1/4	
<b>Grid-Connected System: Simulation parameters</b>					
<b>Project :</b> Projeto didático					
<b>Geographical Site</b>		Genève-Cointrin		<b>Country</b> Switzerland	
<b>Situation</b>		Latitude 46.2°N		Longitude 6.1°E	
Time defined as		Legal Time Time zone UT+1		Altitude 418 m	
<b>Meteo data:</b>		Albedo 0.20		Geneva 2004 - CIE ground measurements	
<b>Simulation variant :</b> New simulation variant					
Simulation date 27/08/13 19h07					
<b>Simulation parameters</b>					
<b>Collector Plane Orientation</b>		Tilt 30°		Azimuth 0°	
<b>Models used</b>		Transposition Perez		Diffuse Measured	
<b>Horizon</b>		Free Horizon			
<b>Near Shadings</b>		No Shadings			
<b>PV Array Characteristics</b>					
<b>PV module</b>		Si-poly Model Poly 110 Wp 72 cells			
		Manufacturer Generic			
Number of PV modules		In series 11 modules		In parallel 3 strings	
Total number of PV modules		Nb. modules 33		Unit Nom. Power 110 Wp	
Array global power		Nominal (STC) 3630 Wp		At operating cond. 3213 Wp (50°C)	
Array operating characteristics (50°C)		U mpp 339 V		I mpp 9.5 A	
Total area		Module area 29.6 m <sup>2</sup>		Cell area 26.1 m <sup>2</sup>	
<b>Inverter</b>					
		Model IG Plus 35 V-1			
		Manufacturer Fronius International			
Characteristics		Operating Voltage 230-500 V		Unit Nom. Power 3.50 kW AC	
<b>PV Array loss factors</b>					
Thermal Loss factor		Uc (const) 20.0 W/m <sup>2</sup> K		Uv (wind) 0.0 W/m <sup>2</sup> K / m/s	
Wiring Ohmic Loss		Global array res. 604 mOhm		Loss Fraction 1.5 % at STC	
Module Quality Loss				Loss Fraction 1.5 %	
Module Mismatch Losses				Loss Fraction 1.0 % at MPP	
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)		bo Param. 0.05	
<b>User's needs :</b> Unlimited load (grid)					

PVSyst Evaluation mode

Figura 70 - Exemplo de relatório final, página 1/4 – Parâmetros da simulação, prog. PVSYST  
Fonte: Software PVSYST v.6.10-EVALUATION, PVSYST SA, 2013

A segunda página do relatório final “principais resultados”, é apresentada na Figura 71.

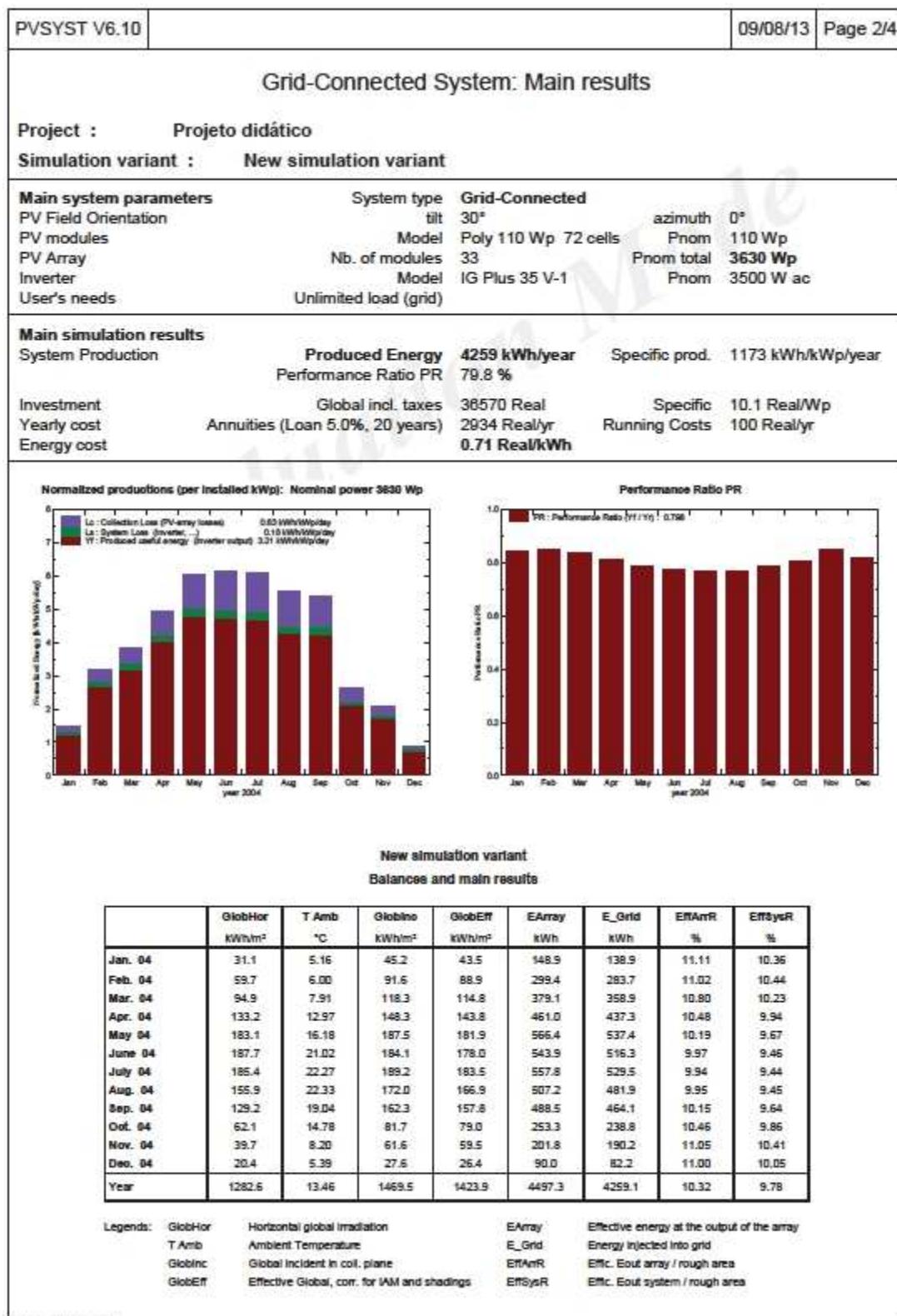


Figura 71 - Exemplo de relatório final, página 2/4 – Principais resultados, prog. PVSYSST  
Fonte: Software PVSYSST v.6.10-EVALUATION, PVSYSST SA, 2013

A terceira página do relatório final “diagrama de perdas”, é apresentada na Figura 72.

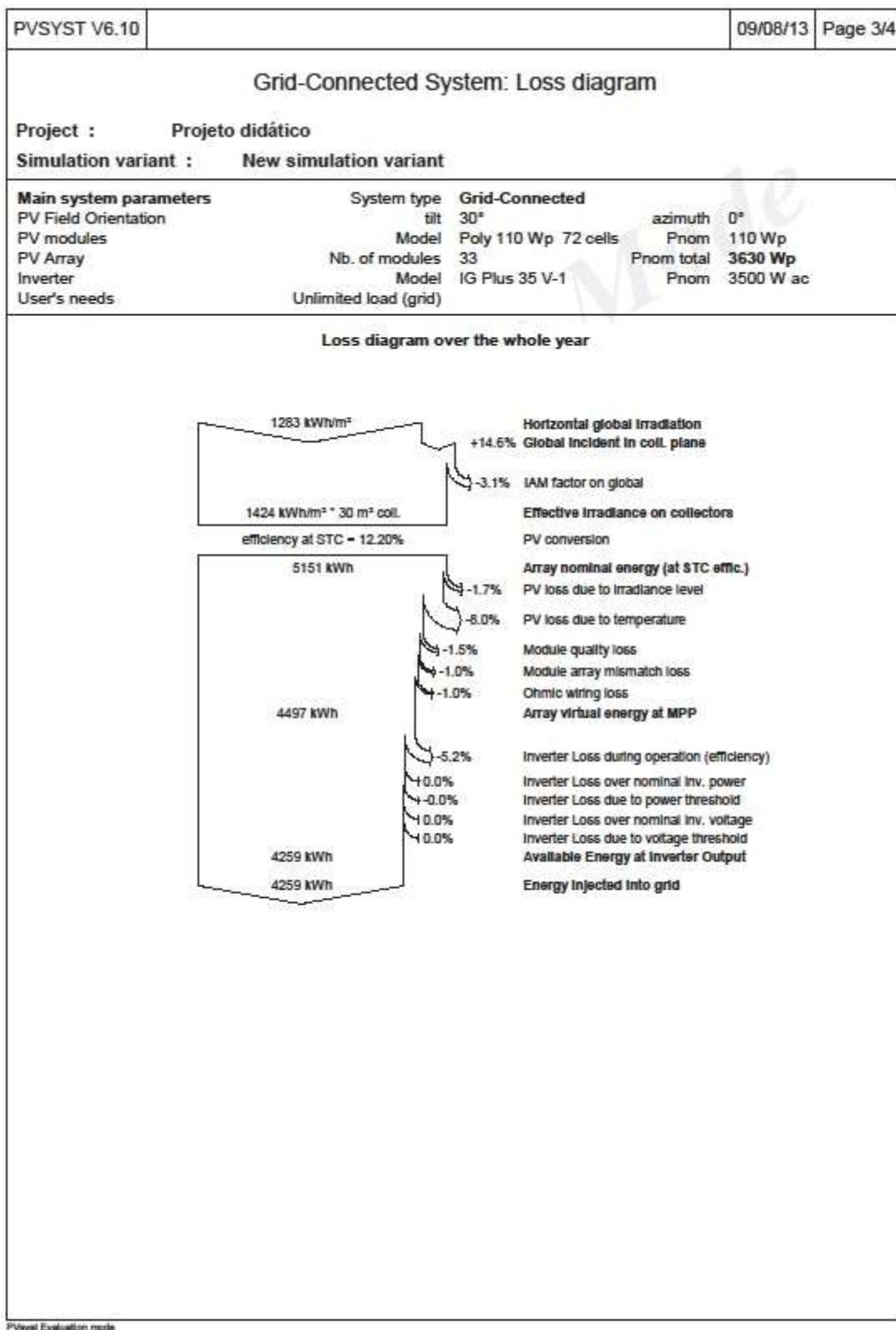


Figura 72 - Exemplo de relatório final, página 3/4 – Diagrama de perdas, prog. PVSYST  
 Fonte: Software PVSYST v.6.10-EVALUATION, PVSYST SA, 2013

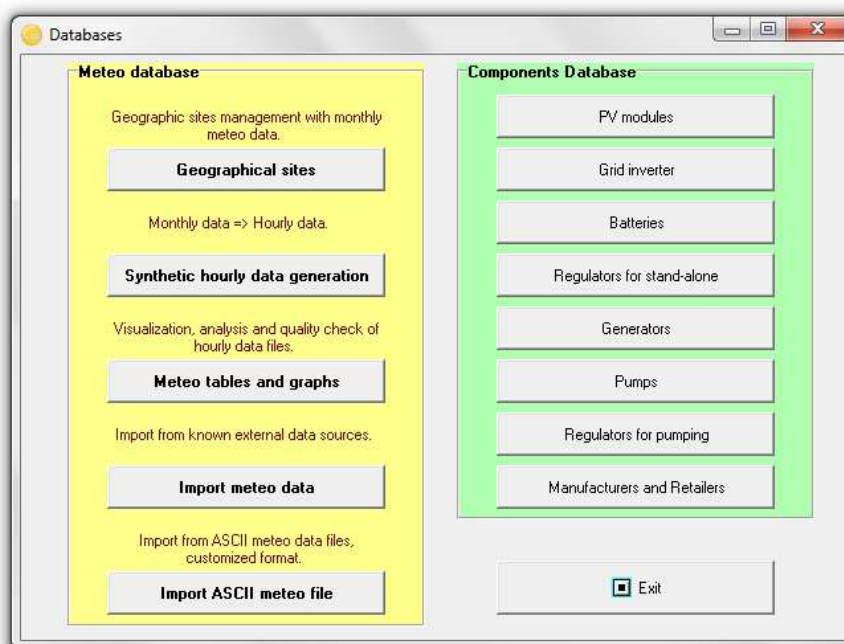
A quarta página do relatório final “avaliação econômica”, é apresentada na Figura 73.

PVSYST V6.10		09/08/13	Page 4/4
<b>Grid-Connected System: Economic evaluation</b>			
<b>Project :</b> Projeto didático			
<b>Simulation variant :</b> New simulation variant			
<b>Main system parameters</b>			
	System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth 0°
PV modules	Model	Poly 110 Wp 72 cells	Pnom 110 Wp
PV Array	Nb. of modules	33	Pnom total 3630 Wp
Inverter	Model	IG Plus 35 V-1	Pnom 3500 W ac
User's needs	Unlimited load (grid)		
<b>Investment</b>			
PV modules (Pnom = 110 Wp)	33 units	500 Real / unit	16500 Real
Supports / Integration		100 Real / module	3300 Real
Inverter (Pnom = 3.5 kW ac)	1 units	9000 Real / unit	9000 Real
Settings, wiring, ...			3000 Real
Substitution underworth			0 Real
<b>Gross investment</b> (without taxes)			<b>31800 Real</b>
<b>Financing</b>			
Gross investment (without taxes)			31800 Real
Taxes on investment (VAT)	Rate 15.0 %		4770 Real
Gross investment (including VAT)			36570 Real
Subsidies			0 Real
<b>Net investment (all taxes included)</b>			<b>36570 Real</b>
Annuities	( Loan 5.0 % over 20 years)		2934 Real/year
Annual running costs: maintenance, insurances ...			100 Real/year
<b>Total yearly cost</b>			<b>3034 Real/year</b>
<b>Energy cost</b>			
Produced Energy			4259 kWh / year
Cost of produced energy			0.71 Real / kWh
PVsyst Evaluation mode			

Figura 73 - Exemplo de relatório final, página 4/4 - Avaliação econômica, prog. PVSYST  
 Fonte: Software PVSYST v.6.10-EVALUATION, PVSYST SA, 2013

### 3.5.5 Base de dados

Na interface principal do programa, clicar no botão “*database*” para abrir a janela de acesso às bases de dados utilizadas, apresentadas na Figura 74.



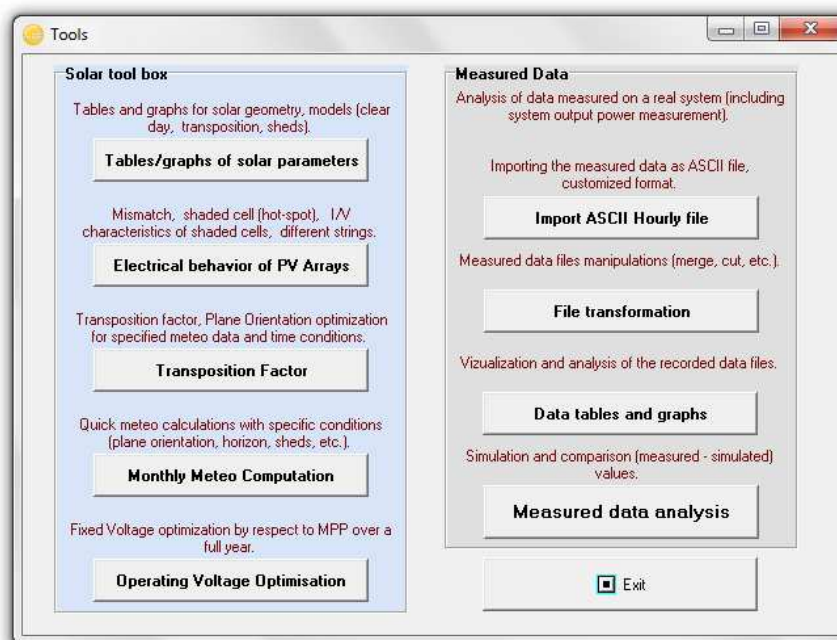
**Figura 74 - Janela de acesso às bases de dados, aberta após selecionar o item “Databases”, interface principal, prog. PVSYST**  
**Fonte: Software PVSYST v.6.10-EVALUATION, PVSYST SA, 2013**

As bases de dados estão organizadas em duas caixas principais:

- *meteo database*: acesso às bases de dados meteorológicos.
- *components database*: os itens relevantes para o projeto de sistemas FV conectados à rede são: “*PV modules*” e “*grid inverters*”.

### 3.5.6 Ferramentas

Na interface principal do programa, clicar no botão “*tools*” para abrir a janela das principais ferramentas disponíveis, apresentada na Figura 75.



**Figura 75 - Janela de acesso às ferramentas, aberta após selecionar o item “Tools”, interface principal, prog. PVSYS**  
**Fonte: Software PVSYS v.6.10-EVALUATION, PVSYS SA, 2013**

As ferramentas estão organizadas em duas caixas principais:

- “*solar tool box*”: caixa de várias ferramentas de apoio;
- análise dos dados medidos (“*measured data*”): ferramenta de avaliação dos dados reais de produção, para gerar tabelas e gráficos da performance real do sistema FV, possibilitando comparações com variáveis simuladas para aprimorar o funcionamento e identificação de problemas.

### 3.6 RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DOS PROGRAMAS

As características dos programas de dimensionamento de sistemas conectados à rede aqui estudados, são comparadas no Quadro 3, do ponto de vista de facilidade de uso, idiomas disponíveis, manuais do usuário, relatórios, dentre outros.



Programa (Fornecedor)	Instalação do programa	Idiomas disponíveis	Manual do usuário	Dimensionamento de cabos	Relatório	Avaliação econômica	Licença de uso	Facilidade de uso
Ingecon Sun Planner (Ingeteam)	On-line	5 (inglês ou espanhol)	Não, só versão 2009	Não	Básico (uma pág.)	Não	Gratuita	Fácil
Aurora Stringsizer (Power-one)	On-line	3 (inglês)	Não, mas possui ajuda (inglês)	Não	Básico (uma pág.)	Não	Gratuita	Fácil
Solar.configurador (Fronius)	PC	8 (inglês ou espanhol)	28 págs.(inglês ou espanhol)	Sim	Básico (uma pág.)	Não	Gratuita	Intermediário
Sunny Design (SMA)	PC	12 (português europeu)	97 págs. (português europeu)	Sim	Resumo, avaliação dimens., consumo próprio (três págs.)	Não	Gratuita	Intermediário
PVsyst (PVSYST)	PC	5 (inglês)	232 págs. (inglês)	Sim	Parâmetros, resultados, diagrama perdas, avaliação econômica (quatro págs.)	Sim	Vários preços; possui versão gratuita (EVALUATION) por 30 dias	Avançado

**Quadro 3: Comparação singela das características dos programas de dimensionamento apresentados neste trabalho.**  
**Fonte: Adaptado dos programas e manuais dos fabricantes: Ingeteam, Power-one, Fronius, SMA e PVSYST, 2013**



### 3.7 OUTROS PROGRAMAS DE DIMENSIONAMENTO

Exemplos de outros programas para dimensionamento de instalações conectadas à rede, disponíveis para acesso *on-line* ou para instalação em um computador pessoal:

- ADVANCED ENERGY (USA): *AE Mono-polar String/Central Inverter*  
<<http://www.solarenergy.advanced-energy.com>>
- HOMER ENERGY (USA): *HOMER Legacy*  
<<https://www.homerenergy.com/download.html>>
- KAKO New Energy GmbH (Alemanha): *Powador PV-Pilot Beta*  
<<http://www.kaco-newenergy.de>>
- SOLECTRIA (USA): *PV System Builder Ver 3.2* <<http://www.solren.com>>
- SOLAR DESIGN (Reino Unido): *PV-SOL Free Demo*  
<<http://www.solardesign.co.uk>>

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho abordou o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, com foco nos programas de dimensionamento disponibilizados por fabricantes de inversores e fornecedores especializados de softwares. Os programas de dimensionamento são importantes ferramentas para o dimensionamento eficiente de sistemas fotovoltaicos, pois tal dimensionamento necessita de muitas variáveis, sendo o cálculo manual muito trabalhoso e sujeito a erros. Estes programas são convenientes porque já incluem as especificações destes equipamentos em suas bases de dados, sistematizam as várias etapas necessárias para a elaboração do projeto e realizam os cálculos automaticamente. Os programas de dimensionamento também são importantes nas diversas fases do projeto, desde a sua pré-avaliação, passando pelos quantitativos, valores de investimentos, até aos cálculos de simulação de produção, necessárias para os estudos de taxas de retorno, já que os custos da tecnologia fotovoltaica para produção de energia elétrica ainda são elevados.

Uma contribuição deste trabalho é auxiliar na utilização dos programas mais populares de dimensionamento de sistemas conectados à rede aqui analisados, apresentando os principais passos e etapas na elaboração de projeto de sistemas FV. Como resultado desta experiência prática, confirmou-se que os programas possuem um sistema automático para indicar ao usuário a melhor combinação módulo-inversor. Dentre os programas analisados, observou-se que os de utilização mais simplificada são os programas *on-line Ingecon Sun Planner* (Ingeteam) e o *Aurora Stringsizer* (Power-one). As etapas de dimensionamento seguem uma sequência intuitiva, no entanto os programas carecem de um manual do usuário para auxiliar aos iniciantes.

Os programas de instalação em computador pessoal *Solar.configurator* (Fronius) e o *Sunny Design* (SMA) apresentam uma elaboração superior, com grau médio de dificuldade, porém a sua utilização é auxiliada por manuais do usuário bem detalhados. Contudo, o *Sunny Design* (SMA) se mostrou o mais completo dos programas gratuitos fornecidos por fabricantes, com a vantagem adicional do manual do usuário ser no idioma português, extenso e bem detalhado.

O programa PVSYST destacou-se como o mais sofisticado e complexo programa de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, não vinculado a nenhum

fabricante de inversor em especial, mas possuindo em suas bases de dados a maioria dos inversores atualmente fabricados. Pelo fato de não ser gratuito, está em constante evolução e sempre atualizado, assim como suas bases de dados, sendo possível efetuar consultas diretamente aos seus desenvolvedores por meio de um fórum oficial. É também um programa de caráter didático, devido seu desenvolvimento e aperfeiçoamento na Universidade de Genebra, Suíça.

Por fim, a outra contribuição deste trabalho é incentivar a popularização dos programas de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, mostrando as opções disponíveis de programas de variados graus de dificuldade ao usuário, para o seu conhecimento e aperfeiçoamento profissional, trazendo autossuficiência e desenvolvimento técnico ao Brasil, no campo dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

## REFERÊNCIAS

ABELLA, M. A.; CHENLO, F.; **Choosing the right inverter for grid-connected PV systems**, pp. 132 -147, Renewable Energy World Magazine, March–April 2004.

**Aurora Stringsizer – Menu “Help”**, Programa *on-line*, Power-one Inc. Disponível em: <<http://stringtool.power-one.com>> Acesso em 27/05/13.

BRASIL. ANEEL. **Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/FontesEnergia.asp?>> Acesso em: 30/08/13.

BRASIL. ANEEL. **Resolução nº 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em 20/05/13.

BRASIL. EPE. **Balanco Energético Nacional 2012**, 2012. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/default.aspx>> Acesso em 20/05/13.

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito, **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**, Rio de Janeiro-RJ, 2004.

**Energia Fotovoltaica: Manual sobre tecnologia, projecto e instalação**, Instituto Superior Técnico, Portugal, 2004. Disponível em: <<http://static.voltimum.pt/sites/www.voltimum.pt/files/pt/others/C/201101103005201004293706201003194426.pdf>> Acesso em 20/05/13.

EUROPA. EPIA. **Global Market Outlook for photovoltaics 2013-2017**. May 2013 Disponível em: <<http://www.epia.org/news/publications/global-outlook-for-photovoltaics-2013-2017/>> Acesso em 20/05/13.

FREITAS, S. S. A.; **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos**, Mestrado em

Engenharia Industrial, Instituto Politécnico de Bragança, Portugal, 2008.

**Fronius Solar.configurator Operating instructions v.2.5.x software**, Fronius International GmbH, 2010. Disponível em: <<http://www.fronius.com>> Acesso em 04/03/13.

Greenpeace and EPIA – European Photovoltaic Industry Association, **Solar Generation n.6 – Executive Summary**, October 2010, p. 2

**Handbook for Solar Photovoltaic (PV) Systems**, EMA, Singapura, 2011. Disponível em: <<http://www.ema.gov.sg/>> Acesso em 18/03/13

**Ingecon Sun Planner Manual do Usuário**, INGETEAM S.A., 2009. Disponível em : <<http://www.ingeconsunplanner.com/>> Acesso em 29/05/13

JANNUZZI, G. M.; MELO, C. A.; **Grid-connected photovoltaic in Brazil: Policies and potential impacts for 2030**, Energy for Sustainable Development n.17, pp. 40-46, 2012.

MARTINS, F. R.; RÜTHER, R.; PEREIRA, E. B.; ABREU, S. L.; **Solar energy scenarios in Brazil, Part two: Photovoltaics applications**. Energy Policy 36, pp. 2865–2877, 2008.

**PVSYST v.5.21 Contextual Help User's Guide**, PVSYST SA, 2012. Disponível em:< <http://files.pvsyst.com/pvsyst5.pdf> > Acesso em 28/05/13

RÜTHER, R.; SALAMONI, I.; MONTENEGRO, A.; BRAUN, P.; DEVIENNE, R. **Programa de telhados solares fotovoltaicos conectados à rede elétrica pública no Brasil**, XII ENTAC, Out/2008. Disponível em: <[http://www.lepten.ufsc.br/publicacoes/solar/eventos/2008/ENTAC/salamoni\\_ruther.pdf](http://www.lepten.ufsc.br/publicacoes/solar/eventos/2008/ENTAC/salamoni_ruther.pdf)> Acesso em 25/04/13.

SOLAR FUNDAMENTALS, **Citizenre Solar Expert Training, Modulo1: A primer on solar electric systems for Ecopreneurs**, 2007. Disponível em:

<[http://byelverton.net/solar/Solar\\_Fundamentals.pdf](http://byelverton.net/solar/Solar_Fundamentals.pdf)> Acesso em 08/03/13.

SOLAR-FACTS.COM. **World Insolation**, 2013. Disponível em: <<http://www.solar-facts.com/world-solar/world-insolation.php>>. Acesso em 23/05/13.

SULAIMAN, S. I.; RAHMAN, T. K. A.; MUSIRIN, I.; SHAARI, S.; SOPIAN, K.; **An intelligent method for sizing optimization in grid-connected photovoltaic system**, Solar Energy nr.86, May 2012.

**SUNNY DESIGN v.2.20 Software para planejamento de sistemas fotovoltaicos Manual de utilização**, SMA Solar Technology AG, 2012. Disponível em: <<http://files.sma.de/dl/2830/SDesign-BA-BPT120432.pdf>> Acesso em 18/02/13.

URBANETZ, J. **Apostila do Curso de Energia Fotovoltaica – fundamentos e dimensionamento de sistemas**, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

VOLPATO, W. L.; BOLDT, M. A., **O sol**, Metodologia e prática do ensino de Física, Curso de Física UFSC, Florianópolis, 2004. Disponível em: <[http://www.ced.ufsc.br/men5185/trabalhos/25\\_osol/index.htm](http://www.ced.ufsc.br/men5185/trabalhos/25_osol/index.htm)> Acesso em 15/04/13